©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Metamorphose der Kohle und ihr Einfluß auf die sichtbaren Bestandteile derselben

Von W. Petrascheck, Leoben

Mit 10 Textabbildungen

(Vorgelegt in der Sitzung vom 9. Oktober 1947.)

Der Prozeß der Inkohlung ist zweiphasig. Die erste Phase ist ein biochemischer, die zweite ein geochemischer Prozeß. Der biochemische Prozeß wird in irgendeinem mehr oder weniger vorgeschrittenen oder auch kaum begonnenen Stadium unterbrochen und dann vom geochemischen Prozeß abgelöst. Dieser ist die Metamorphose der Kohle, während der biochemische Prozeß der Vertorfung wegen des dabei stattfindenden Lösungsumsatzes in der übrigen Gesteinswelt etwa mit der Diagenese verglichen werden kann, allerdings mit dem großen Unterschied, daß der Lebensprozeß von Organismen dabei den Antrieb gegeben hat. Die sichtbaren Bestandteile der Kohle, auch Gefügebestandteile genannt, reagieren auf beide Prozesse in verschiedener Weise.

Der biochemische Prozeß vollzieht sich vor unseren Augen. Für die Kohlenchemie wertvolle neue Erkenntnisse über den Vertorfungsprozeß wurden von Lieske, W. Fuchs, Stadnikoff, Tropsch, Brandl, Zetzsche u. a. erzielt, indem sie den biologischen Abbau der Zellulose und des Lignins durch Bakterien bzw. Pilze studierten, die Eigenschaften der Huminsäuren, des Moders, der Bitumenträger u. a. m. erforschten.

Den geochemischen Prozeß können wir nicht in gleicher Weise verfolgen. Auf seinen Verlauf können wir nur Rückschlüsse ziehen, wenn wir die Art des Vorkommens und seine Geschichte mit den Eigenschaften der Kohle zum Teil auf statistischer Grundlage vergleichen. Daneben konnten Versuche noch gewisse, wenn auch beschränkte Hinweise liefern.

Wie bei den Gesteinen kommt auch bei der Kohle thermische

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

und kinetische Metamorphose in Betracht und wie bei den Gesteinen kann ihre Unterscheidung dort, wo die Art des Vorkommens in der Natur nicht zu Hilfe kommt, Schwierigkeiten bereiten.

Wiederholt war von Chemikern die Temperatur allein als der Faktor bezeichnet worden, der die verschiedenen Rangstufen der Kohlen entstehen läßt. Die Entstehung der Steinkohle wurde (Erdmann 1924) (1) an eine Temperaturgrenze gebunden, welche weder der Geologe (W. Petrascheck 1930) (2) noch der Biochemiker (Zetzsche und Kälin 1932) (3) konzedieren konnte. Befremdlich ist, daß trotzdem diese Vorstellung auf Grund von Laboratoriumsversuchen bei Gropp und Bode (1932) (4) in den Worten wieder auftaucht: „Es ist nicht anzunehmen, daß tektonische Kräfte bei der Metamorphose der Kohlen von erheblichem Einfluß sind.“ Es wird unten auf diesen Punkt nochmals eingegangen werden.

Wenn es nach vorstehendem berechtigt und in der Tat verschiedentlich üblich ist, den Prozeß der Umwandlung von Torf in Kohle als Metamorphose analog der Gesteinsmetamorphose zu bezeichnen, so liegt in dieser Bezeichnung auch bei Kohlen eine Zweideutigkeit, denn man kennt Kohlen, die als fertige Kohle kontaktmetamorphosiert werden, zu Koks, zu Graphit oder auch nur zu höherwertigen Kohlen. Man kennt aber auch genug Graphitlager, von denen bekannt ist, daß sie regionalmetamorphe oder kontaktmetamorphe Kohlenlager sind. Man kennt Kohlen, von denen es klar ist, daß sie in zwei getrennten Phasen zu jener Kohle wurden, als welche sie heute vorliegen. Beispielsweise konnte W. E. Petrascheck (1935) (5) beim Gonda-Anthrazit zeigen, daß in ihm eine mylonitisierte, zugleich aber wieder völlig verfestigte Kohle vorliegt. Hier gibt das Mikroskop klare Auskunft. Die Kohle von Ibbenbüren ist vermutlich zunächst genau so als Flammkohle entstanden wie andere Kohlen des Westfal C im Ruhrgebiet. Eine neuerliche Versenkung zur Kreidezeit und die darauf folgende saxonische Tektonik wandelte sie weiter zur Magerkohle um. Mit weniger Erfolg suchte ich bei ihr unter dem Mikroskop wie in der Grube nach Merkmalen dieses zweiphasigen Inkohlungsprozesses. Die Klüftung deutet an, daß die Kohle mehr erlebt hat als jene an der Ruhr, und feine Risse, die durch die fertige Kohle längs der Schichtung hindurchsetzen, sind mit Fusit erfüllt, der in Falten gelegt ist, wobei die Vergenz in der Fallinie nach aufwärts zeigt. Die Geologie der Landschaft hier wie in einigen anderen Fällen läßt auf den zweiphasigen Vorgang schließen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

So schiene es berechtigt, nur die durch Eruptivkontakt oder Tektonik bedingten, weiteren, fortschreitenden Umwandlungen der Kohle, nicht aber die Umwandlung von Torf in Kohle, als „Metamorphose“ oder „Metamorphose im engeren Sinne“ zu bezeichnen, während für jene Metamorphose, die vom Torf zur Kohle führt, die Bezeichnung Inkohlung vorbehalten wird.

Es gibt Kohlenmylonite, wie z. B. die von den Häuern der Ostalpen treffend als Preßkohle bezeichneten Mylonite in den mesozoischen Kohlenflözen. Dies wie die Zerreibung und Verschieferung der Kohle in Schichten mit Deckenbau sind mehr oder weniger örtliche Deformationen der Kohle, die am besten mit diesen Bezeichnungen charakterisiert werden und nicht zu den metamorphen Kohlen gezählt werden.

Bei anorganischen Gesteinen spricht man von Metamorphose, wenn Neubildung von Mineralien und Umformung des Gefüges eingetreten ist. Mineralien gibt es in der Kohle nicht, aber chemische Neu- und Umbildungen sind in den Gefügebestandteilen der Kohle zu erkennen und bilden einen Gegenstand der nachfolgenden Untersuchung. Da keine Minerale vorliegen, konnte auch keine Neu- oder Rekristallisation eintreten. Aber plastische Umformungen der Gefügebestandteile der Kohle sind vorhanden. Ich sehe darum kein Hindernis, den geochemischen Inkohlungsprozeß als Metamorphose zu bezeichnen und erinnere nur an die verschiedene Reagibilität verschiedener Gesteine, die, um nur einige herauszugreifen, die Reihenfolge zeigt: Quarzit, Tone, Mergel, Karbonatgesteine, Sulfide und Salze, endlich als reagibelstes die Kohle.

Was im folgenden näher untersucht werden soll ist der geochemische Inkohlungsprozeß.

Metamorphose und Inkohlung.

Chemische Unterschiede zwischen thermischer und kinetischer Metamorphose.

Es besteht wenig Hoffnung, chemische Unterschiede zwischen thermisch und dynamisch veredelten Kohlen gleichen Ranges zu finden. Um diese Frage zu klären, hatte ich einst mit Dr. Ing. M. Dolch (Halle) Studien vereinbart. Herr Dolch übernahm entgegenkommendst den chemischen Teil der Arbeit. Sein früher Tod brachte die Untersuchung im Anfangsstadium zum Stocken. Ich stelle die Analysen, die Dolch in der ihm üblichen Weise an dem zu diesem Behufe gesammelten Material

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

	Kontaktmetamorphosiert								
	Handlowa			Boekit-Assam					
Immediatanalyse:									
Wasser %	14,5			7,9			8,2		
Asche . %	4,5			6,0			1,7		
Fixer C . . %	42,5			50,4			50,6		
Flüchtige Stoffe %	38,5			35,7			39,5		
Koksausbeute . %		47,0			56,4			52,3	
Reinkohlegehalt . %		79,4			84,7			88,8	
Koksbefund .	sandig			gebacken			gebacken		
Aschenschmelzpunkt	1100° C			1450° C			1430° C		
Heizwert, oberer .	5910			7037			7392		
Entgasung (ausgegart bis 1000°):									
Koks %	48,9			56,5			52,3		
Teer . . %	9,0			13,0			15,7		
Wasser, insgesamt . %	26,3			13,4			16,7		
dav. Zers.-Wasser %		10,2			4,1			7,2	
Gas %	15,8			17,1			15,3		
Gasanteil der Kohle:	bis 750°	750 bis 1000°	Zus.	bis 750°	750 bis 1000°	Zus.	bis 750°	750 bis 1000°	Zus.
Gesamtgas . . . m³	15,14	7,04	22,18	15,95	10,03	25,98	16,20	8,34	24,54
Schwefelwasserstoff	0,41	—	0,41	0,06	—	0,06	0,13	—	0,13
Kohlensäure . . .	1,86	—	1,86	0,85	0,05	0,90	0,97	—	0,97
Dampff. Kohlen-	0,20	—	0,20	0,37	—	0,37	0,16	—	0,16
Schwere Wasserstoffe	0,18	—	0,18	0,21	—	0,21	0,32	—	0,32
Sauerstoff .	0,06	—	0,06	0,28	—	0,28	0,23	0,12	0,35
Kohlenoxyd	2,04	0,85	2,89	1,44	0,98	2,42	1,62	0,53	2,15
Wasserstoff . . .	4,71	5,02	9,73	5,65	6,93	12,58	5,31	6,31	11,62
Methan und Homologe	4,94	0,48	5,42	5,56	0,98	6,54	6,49	0,82	7,31
Stickstoff als Rest .	0,74	0,69	1,43	1,53	1,09	2,62	0,97	0,56	1,53
Spez. Gewicht des Gases	0,876	0,472		0,748	0,402		0,786	0,370	
Heizwert des Gases berechnet	5090	3170		5700	3060		5740	3460	
Heizwert des Gases bestimmt	5432	3267					5760	—	
Elementaranalyse:			auf Reinkohle			auf Reinkohle			auf Reinkohle
Wasser %	16,10			9,30			9,50		
Asche %	4,50			6,00			1,70		
C %	60,91		76,71	68,90		81,40	71,70		80,70
H %	3,88		4,89	4,50		5,30	5,60		6,31
N . . %	0,99		1,25	1,70		2,00	1,47		1,65
O + S %	13,62		17,15	S 1,10		1,30	S 0,56		0,63
				O 8,50		10,00	O 9,52		10,71
Kohlungsindex nach Wieluch	K = 0,54			K = 0,56			K = 0,48		

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

:le 1

ohlen	Kinetisch metamorphosierte Kohlen			
Wohontsch	Leoben	Hausham	Reichenburg	
31,2	7,8	7,4	22,9	
5,5	5,7	9,6	9,7	
30,3	46,4	41,6	33,4	
33,0	40,1	41,4	34,0	
35,8	52,1	51,2	43,1	
59,1	86,5	82,8	65,7	
		schwach gesindert	sandig	
1130° C	1220° C	1050° C	1120° C	
4140	6415	6145	4725	
u t e n				
35,9	54,4	52,7	43,7	
6,7	10,7	10,5	6,4	
39,0	18,2	17,3	31,9	
3,6	10,4	9,9	7,3	
18,4	16,7	19,5	18,0	
is 750° / 750 bis 1000° / Zus.	bis 750° / 750 bis 1000° / Zus.	bis 750° / 750 bis 1000° / Zus.	bis 750° / 750 bis 1000° / Zus.	
6,70 / 4,66 / 21,36	16,24 / 8,35 / 24,59	16,50 / 7,79 / 24,29	14,75 / 5,64 / 20,39	
0,40 / — / 0,40	0,16 / — / 0,16	0,99 / — / 0,99	0,83 / — / 0,83	
4,49 / 0,04 / 4,53	2,29 / — / 2,29	2,20 / 0,06 / 2,26	3,00 / — / 3,00	
0,05 / — / 0,05	0,09 / — / 0,09	— / — / —	— / — / —	
0,18 / — / 0,18	0,26 / — / 0,26	0,23 / — / 0,23	0,18 / — / 0,18	
0,15 / — / 0,15	0,10 / — / 0,10	0,16 / 0,02 / 0,18	0,07 / — / 0,07	
2,72 / 0,77 / 3,49	2,04 / 0,99 / 3,03	2,23 / 1,61 / 3,84	1,99 / 0,87 / 2,86	
3,64 / 2,93 / 6,57	4,08 / 5,78 / 9,86	3,81 / 4,96 / 8,77	3,64 / 3,79 / 7,43	
4,46 / 0,51 / 4,97	6,41 / 0,99 / 7,40	6,34 / 0,59 / 6,93	4,28 / 0,43 / 4,71	
0,61 / 0,41 / 1,02	0,81 / 0,59 / 1,40	0,54 / 0,55 / 1,09	0,76 / 0,55 / 1,31	
0,118 / 0,495	0,895 / 0,445	0,890 / 0,479	0,936 / 0,439	
060 / 3460	5310 / 3600	4890 / 3290	4060 / 3240	
		5267 / 3307	4609 / 3172	
auf Reinkohle	auf Reinkohle	auf Reinkohle	auf Reinkohle	
35,40	7,80	7,60	24,60	
5,50	5,70	9,60	9,70	
44,51 / 75,31	64,59 / 74,70	60,22 / 72,73	48,75 / 74,20	
2,19 / 3,71	4,21 / 4,86	4,77 / 5,76	2,92 / 4,44	
0,54 / 0,92	0,64 / 0,74	1,04 / 1,26	1,23 / 1,87	
11,86 / 20,06	17,06 / 19,70	16,77 / 20,25	12,80 / 19,49	
K = 0,62	K = 0,53	K = 0,43	K = 0,56	

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

durchgeführt hat, hier nebeneinander. Sie geben noch keinen Anhalt. Es hätten noch spezielle Untersuchungen folgen sollen. Von der stufenweisen Entgasung bei 300° beginnend, wäre vielleicht ein Weg zur Unterscheidung zu erwarten, denn Dolchs Analysen zeigen beachtliche Unterschiede im Auftreten dampfförmiger Kohlenwasserstoffe, bei Kohlen beiderlei Metamorphose (s. Tabelle 1).

Als kontaktmetamorphosierte Kohlen wurden gewählt die Glanzbraunkohle von Handlowa in der Slowakei, jene von Boekit Assam in Niederländisch-Indien und die von der Grube Einigkeit bei Wohontsch in Böhmen, als dynamisch veredelt die Kohle von Leoben (Steiermark), von Hausham (Bayern) und Reichenburg (Slowenien).

Die okkludierten Gase der Handlowaer Kohle enthalten nach Vondrack 0,5% ungesättigte Kohlenwasserstoffe, gegen nur wenige Hundertstel Prozent in anderen Kohlen. Mir schien es früher berechtigt, wenn der Autor vermutet, daß sich hierin ein Einfluß des Eruptivkontaktes bemerkbar mache. In der Tat hat auch die weitgehende Zerkleinerung in der Vakuummühle, die F. Fischer, K. Peters und A. Warnecke (1937) (7) bei verschiedensten Kohlen anwandten, immer nur Kohlenwasserstoffe der Methanreihe freigemacht. Neuere eigene Untersuchungen in der Grube von Handlowa lassen mich jedoch vermuten, daß die dort auftretenden Gasexhalationen ebenso wie die kleinen Ölspuren aus dem Liegenden kommen, daß es sich also um eingewandertes Erdgas handle, welches aus tieferliegenden Burdigal oder Palaeogen entwickelt wird, ein Fall, der nicht einzelstehend ist.

Verfestigung des Nebengesteins.

Je härter das Begleitgestein, um so edler die Kohle. Diese Regel, auf die ich schon lange verweise, wird jeder, der breite Erfahrungen auf dem Gebiete Kohle hat, bestätigen können. Auszunehmen sind diagenetisch verfestigte Gesteine, wie die Süßwasserkalke und Quarzite, welche manche Weichbraunkohlen begleiten, Kalksandsteine, die da und dort in Schichten mit Kohlen verschiedenen Ranges auftreten und ähnliches. Die Verfestigung ist bei Tonen mit einer Abnahme des Wassergehaltes verbunden (W. Petrascheck und Berta Wilser) (1926) (8), bei diesen und bei Sandsteinen auch mit einer Verringerung des Porenvolums, worüber ich aus dem Ruhrgebiet einige orientierende Versuche bekanntgegeben habe (1939).

David White (9) nannte die Kohle schon lange einen

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Gradmesser für die niedersten Stadien der Gesteinsmetamorphose. Seine Feststellungen über den Zusammenhang der Isovolen, d. i. den Linien gleicher Mengen flüchtiger Bestandteile in der Kohle, die wenigstens bei Steinkohlen eine Kennzahl ihrer Reife sind, mit dem Auftreten von Erdöllagerstätten hatte eine ganze Literatur hervorgerufen. Diese Feststellung ist nur eine Folgeerscheinung der zunehmenden Gesteinsverfestigung, denn je mehr verfestigt, um so durchlässiger sind die Sedimente, insbesondere die Tongesteine, um so eher kann also das Öl verdunsten, das Gas diffundieren.

Um aus dem Bereich bekanntester deutscher Kohlen Beispiele zu nennen, erinnere ich daran, daß im Ruhrgebiet das Flözleere und die Magerkohlenschichten der Bereich der Bausandsteine sind, daß im Westen Oberschlesiens im Produktiven Bausandsteine nur zusammen mit Mager- und Eßkohlen auftreten und daß im Osten Oberschlesiens, wo die Faltung nur mehr ganz gering ist, mit den Flammkohlen, die in mancher Hinsicht schon Braunkohlenmerkmale aufzeigen, die Sandsteine zum Teil in der Hand zerdrückbar sind, die Schiefertone mitunter quellend oder im Wasser zerfallend. Ähnlich mürb aber sind die Sandsteine der westfälischen Flammkohlenschichten auf Grube Baldur. Vom äußersten Nordostrand des Dabrowaer Revieres in Oberschlesien untersuchte ich Tongesteine des tieferen Namur, aus denen die Mikroorganismen durch Schlämmen gewonnen werden konnten.

Auf die Verfestigung auch im Eruptivkontakt sei zum Vergleich nur hingewiesen.

Die Inkohlungsreihe.

Von der Erdbraunkohle beginnend reiht man die Kohlen in eine Rangfolge, die im Graphit ihr Ende findet. Bei den Steinkohlen ist die auf Reinkohle umgerechnete Menge der flüchtigen Bestandteile oder das Verhältnis dieser zum fixen Kohlenstoff (carbon ratio) das numerische Kennzeichen dieser Rangfolge, die man als Inkohlungsgrad bezeichnet. Im Graphit sinkt der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen auf ein Minimum (4—6% beim steirischen Graphit nach W. Petrascheck 1930) (2). Bei den Braunkohlen versagt dieser Gradmesser, was nicht immer beachtet wird. Es tritt der Wassergehalt an seine Stelle. Dieser ist es auch, der die äußeren Kennzeichen, welche für die Klassifikation der Braunkohlen von Gothan, Pietsch und Petrascheck (10) zugrunde gelegt wurden, maßgeblich beeinflußt. Folgende Gehalte können einen Maßstab geben:

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Erdbraunkohle . .	40—60% Wasser
Stückige Weichbraunkohle	30—40%
Mattbraunkohle	20—30%
Glanzbraunkohle	8—16%

Breitere Untersuchungen über die Bindung des Wassers stehen noch aus. Agde und Vetter (1939) (11) unterscheiden mit Hilfe der Dampfdruckkurve grob gebundenes, kapillar gebundenes und adsorptiv gebundenes Wasser. Der größere Teil und auch der veränderlichste Teil ist das Erstgenannte. Trotzdem darf man auch vom adsorptiv und kapillar gebundenen Wasser Kennzahlen erwarten. Eigene vor langer Zeit durchgeführte Versuche zeigten, daß das durch Trocknen an der Luft verlorene Wasser nur zum Teil aus dampfgesättigter Luft wieder aufgenommen wird. Die Versuche konnten an verschiedenen Braunkohlenarten nicht systematisch zu Ende geführt werden, weil Schimmelpilze auf den Kohlen zu wachsen begannen.

Eine der Hiltschen Regel entsprechende Regel für Braunkohlen wurde von Schürmann (1925) (12) in Ostborneo festgestellt. Dort ist pro 100 m Schichtenmächtigkeit eine Abnahme des Wassergehaltes um 1% erkennbar. Es haben pliozäne Kohlen 20% und mehr, jungmiozäne 15—20%, altmiozäne 9—15% und eozäne Kohlen 3—7% Wasser. Tektonische Einflüsse sind nach Schürmann die Ursache der Abnahme. Aus Daten, welche F. S. Parker (1936) (13) aus dem Richely-Lambert-Coal-Field mitteilt, kann man errechnen, daß Flöze mit stückiger Weichbraunkohle bis Mattbraunkohle auf 200 m Schichtenmächtigkeit eine Abnahme an Wasser bzw. flüchtigen Bestandteilen von 5,3% bzw. 4,1% aufweisen.

In Mittel- und Südosteuropa sind die flözführenden Schichtfolgen, soweit sie nur einer orogenetischen Phase angehören, meist zu wenig mächtig, um zu dieser Schürmannschen Regel Stellung zu nehmen. Ein Bohrloch im Revier Dios Györ, das alle drei Flöze durchteuft hatte, zeigte vom untersten zum obersten Flöz auf 220 m Schichtenmächtigkeit eine Abnahme des Wassergehalts von 7%, d. i. 3% auf 100 m, wobei zu berücksichtigen ist, daß Feuchtigkeitsbestimmungen in Bohrproben nur bei besonderer Achtsamkeit richtig sein können. In einem benachbarten Schacht zeigen zwei Flöze, die durch ein Mittel von 125 m getrennt sind, eine Abnahme um 6,6%, d. i. 5,2% auf 100 m. Aus den Angaben von Schmitz (1932) (14) kann man für die niederrheinische Erdbraunkohle 3,5% pro 100 m errechnen.

Der Größenordnung nach sind die Unterschiede ähnlich wie bei der Hiltschen Regel. Es ist aber zu beachten, daß die Beob-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

achtungsbasis bisher eine sehr kleine ist und vor allem, daß die Schichtfolgen, welche Braunkohlen enthalten, bei weitem nicht die Dicke besitzen, welche bei Steinkohlen häufig sind.

Als Unterschied zwischen Braunkohle und Torf wurde seinerzeit (Gothan, Pietsch, Petrascheck) (1927) (10) angegeben, daß aus Torf Wasser ausgequetscht werden könne, aus Braunkohlen nicht. Die einschlägigen Versuche mit einer hydraulischen Presse wurden nicht vor meinen Augen gemacht. W. Siegl (15) konnte mit einer kleinen Laboratoriums-Brikettpresse zeigen, daß aus stückiger Weichbraunkohle noch einige Prozent Wasser ausgequetscht werden können.

Wiederholt wurde darauf aufmerksam gemacht, daß die Inkohlungsreihe Sprünge aufweist. Für die Ruhrkohlenflöze verdankt man K. Lehmann und E. Hoffmann (16) wertvolle einschlägige Untersuchungen. Ratsam ist es bei solchen Untersuchungen, den Einfluß der wechselnden Gefügezusammensetzung auszuschalten, indem man sich auf einen Bestandteil, am zweckmäßigsten Vitrit, beschränkt. Die genannten Autoren fanden die sprunghaften Änderungen bei allen Bestandteilen. Eine noch offene Frage ist, ob gleiche Inkohlungssprünge sich in verschiedenen Gebieten zeigen. Erst dann könnte man auf plötzlich einsetzende Reaktionen in bestimmten Stadien des Inkohlungsprozesses schließen, sonst aber auf örtliche Ursachen. Bei Braunkohlen mangelt es an gleichartigen Untersuchungen, weil es außerhalb der indisch-australischen Inseln selten sehr mächtige braunkohlenführende Schichtfolgen gibt.

Es scheint, daß ein solcher Sprung zwischen den Mattbraunkohlen und den Glanzbraunkohlen vorhanden ist. Ich kenne selten Übergänge von schwarzem Xylit zu Vitrit. Es gibt Vitrite, die dem bloßen Auge deutlich die Jahresringe zeigen, aber trotzdem sind es typisch glänzende Vitrite mit muscheligem Bruch, bei denen es schwieriger sein kann u. d. M. die Holzkonstruktur zu erkennen, während schwarzer Xylit sich zwar nicht mehr als biegsam erweist, doch aber nach Art des Holzes bricht. Bis jetzt sind mir auch Übergänge von braunem zu schwarzem Xylit nicht bekanntgeworden. Ich verweise auf Analysen, die ich von Xyliten und Vitriten (Anthraxylom) von Handlowa mitgeteilt habe, brauner Xylit 25,43%, schwarzer 49,52% flüchtige Bestandeile (17).

Statischer Druck und Erdwärme.

Wegen der Hiltschen Regel wird mitunter die Deckgebirgsmächtigkeit und die aus ihr zugleich sich ergebende Erdwärme als

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 2. Erdwärme und maximale Deckgebirgsmächtigkeit für verschiedene Kohlenreviere.

T errechnet	Maximale Deckgebirgsmächtigkeit in m	Kohlenart	Flüchtige Bestandteile in der Reinkohle %	Wasser	Alter	Vorkommen
10	50	Erdbraunkohle	50	58	Miozän	Senftenberg
10	50		60	52	Eozän	Halle
15	200	„ . . .	55	55	Miozän	Regensburg
14	200	Schiefrige Weichbraunkohle	65	38	Pliozän	Hausruck, Oberösterreich
14	200	Erdbraunkohle . . .	63	45	Miozän	Egerer Becken
19	300	Schiefrige Weichbraunkohle	55	40	Pliozän	Ilz, Steiermark
19	300		62	43	„	Gödinger Revier
19	300	„	55	37	Miozän	Köflach, Steiermark
19	300	Mattbraunkohle . . .	53	27		Lavanttal, Kärnten
18	300	Schiefrige Weichbraunkohle	54	30	„	Aflenz, Steiermark
.	300	„	.	40	Pliozän	Lom, Bulgarien
21	400	Glanzkohle	40	9	Miozän	Leoben, Steiermark
26	500	„ .	55	27		Statzendorf, Niederösterreich
27	500	Erdbraunkohle . . .	52	62		Brühler Revier, Rheinland
	500	Schiefrige Weichbraunkohle	49	47		Varpalota
	500	Mattbraunkohle .	54	27	„	Sajotal
.	500	Glanzkohle . .	65	25	Oligozän	Reichenburg
28	600	Mattbraunkohle	55	28	Miozän	Brüxer Revier
	600	Glanzbraunkohle	50	16	„	Ossegg
	600	Flammkohle .	42	24	Karbon	Siersza
	700	Glanzbraunkohle	48	13	Eozän	Dorog
.	700	Fettkohle	25	1	Kreide	Rtanj
35	800	„	13	6	Wealden	Deister, Hannover
38	800	Schiefrige Weichbraunkohle	48	46	Pliozän	Konsčina, Kroatien
35	800	Flammkohle	37	6	Rotliegend	Döhlen, Sachsen

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

	800	Glanzbraunkohle	47	11	Miozän	Salgo Tarjan
.	900		55	14	Eozän	Guttaring
42	1000	„ . .	42	15	Miozän	Brennberg, Ungarn
43	1000	Schiefrige Weichbraunkohle	57	40	Pliozän	Prahowa, Rumänien
.	1100	Flammkohle	45	3	Oligozän	Zsiltal
50	1200	Glanzkohle	59	12	Eozän	Tatabanya
53	1400	Flammkohle	35	8	Karbon	Pilsen, Böhmen
58	1500	„	44	5	Kreide	Grünbach, Niederösterreich
58	1500	Glanzkohle	37	10	Miozän	Fohnsdorf, Steiermark
62	1600		.	.	Sarmat	Pragerhof, Slowakei
66	1700	„ .	60	23	Oligozän	Trifail
	1800	Glanzbraunkohle	33	20	Kreide	Denver, Colorado
	2000	Flammkohle	40	6	Karbon	Ruhrgebiet
.	2000	Anthrazit	6	3	Kreide	Kolumbien
75	2000	Glanzkohle	46	6	Eozän	Häring, Tirol
76	2000	„	50	12	Miozän	Wies, Steiermark
75	2000	Fettkohle .	20	3	Karbon	Rossitz, Mähren
78	2100	Flammkohle	34	14	„	Kladno, Böhmen
.	2100	Fettkohle	28	2	Kreide	Grand River, Colorado
95	2500	„ .	48	3	Paläozän	Arsa, Istrien
91	2500	Flammkohle	37	12	Karbon	Dąbrowa, Polen
99	2700	Fettkohle	30	6	Trias	Lunz, Niederösterreich
101	2800	Gaskohle .	36	3	Karbon	Schwadowitz
	3000	Magerkohle	16	1	Tertiär	Neuseeland
.	3200	Flammkohle	40	2	Karbon	Saar
118	3300	Gaskohle	34	4		Schatzlar, Böhmen
119	3300	Magerkohle	6	1	„	Osnabrück
122	3400	Glanzkohle	52	10	Oligozän	Oberbayern
	3600	Anthrazit	5	3	Karbon	Süd-Wales
.	4200	Gaskohle	35	2		Saar
155	4400	„ .	34	3		Ostrau, Schlesien
160	5500	Magerkohle	20	1		Ruhrgebiet
195	5600	Fettkohle .	25	2		Mähr.-Ostrau
235	6800	Magerkohle	16	1		„
	9000	Anthrazit	8	1		Donez

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

allein ausschlaggebend für den Inkohlungsprozeß angegeben. Würde dies der Fall sein, so müßte eine einfache, gerade Beziehung zwischen dem statischen Druck bzw. der Erdwärme und dem Inkohlungsgrade bestehen. Um zu zeigen, daß dies nicht der Fall ist, hatte ich eine Tabelle errechnet (2), die ich hier in erweiterter Form wiedergebe. An der Hand der Literatur ließe sie sich durch Kohlen aus aller Welt sehr vergrößern. Mit wenigen Ausnahmen beschränke ich mich auf Vorkommen, die ich selbst näher studieren konnte.

Die Tabelle 2 und Abb. 1 zeigen, daß außer obgenannter Beziehung noch andere Einflüsse wirksam sind, sonst müßte die Proportionalität viel deutlicher zum Ausdruck kommen. Es ist gelegentlich sogar bezweifelt worden, daß der Faltungsdruck überhaupt stärker sein könne als der auf die Kohle wirkende Belastungsdruck. Dagegen ist einzuwenden, daß die Schichten gar nicht gefaltet worden wären, wenn sie nicht von der Seite her einem größeren Druck ausgesetzt gewesen wären. Der Einfluß der Last und mit ihr der Erdwärme ist nicht zu bezweifeln, aber zusätzlich kommt in vielen Gebieten ein dynamischer, tangentialer Druck dazu, der die Inkohlung weiter trieb als die Last und Temperatur allein. Es wurde früher schon (W. P. 1929) (2) auf die schlesischen Braunkohlen verwiesen, die, trotzdem sie durch das Eis zu ganz ansehnlichen Falten zusammengeschoben wurden (R. Potonie 1930 [18] und Illner 1933 [19]), doch Braunkohlen niedersten Grades verblieben. Ebenso war der Faltenbau des Gödinger Reviers bei nur 300 m Deckgebirge nicht ausreichend, um die Kohle über eine stückige Weichbraunkohle hinaus zu veredeln. In gleicher Weise blieben die oberflächlich liegenden, pliozänen Kohlen der Rekamulde und des Vinodol in Istrien und Kroatien Weichbraunkohlen mit 52% Wasser trotz starker Faltung und jüngster Überschiebungstektonik. Es ist demnach ein Mißverständnis, wenn mir die Äußerung zugeschrieben wird (Gropp und Bode 1932) (4), daß tektonischer Druck allein die Kohle metamorphosieren könne.

Diese eigenen Erfahrungen stehen in Übereinstimmung mit jenen anderer Beobachter. Ich erwähne Pogrebitzky (1938) (20), der vom Donezbecken hervorhebt, daß die Metamorphose der Kohle nicht nur von der Deckgebirgsdicke, sondern auch von der Tektonik abhängig sei. Im Bassin de Liège legte Legraye (1942) (21) an der Hand einer Isovolenkarte des Flözes Desirée den Einfluß der Schichtenmächtigkeit wie auch sehr schön den Einfluß der Tektonik dar. Der gleiche Forscher zeigte auch (1934) (22) an kanadischen Kreidekohlen der

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

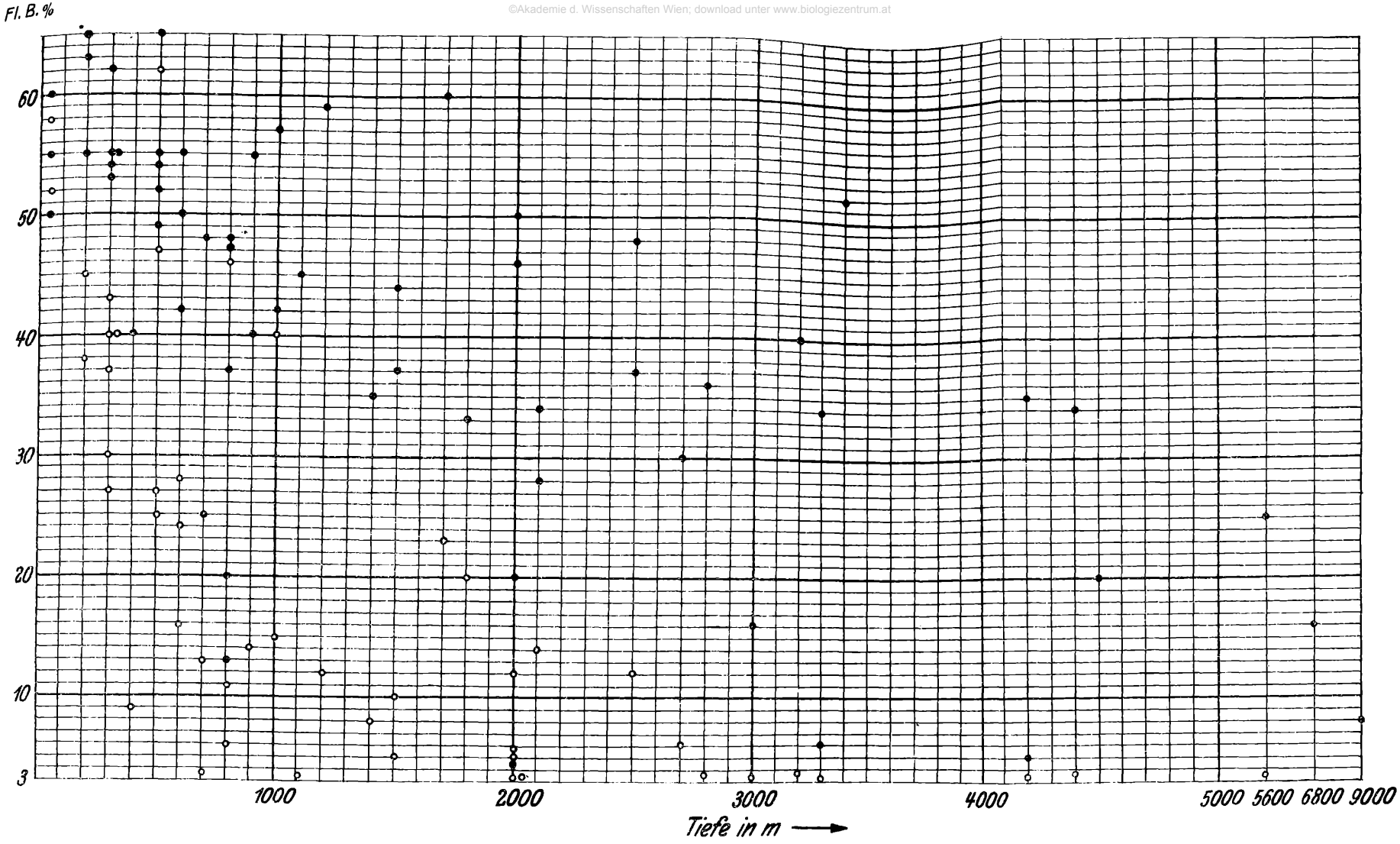

Abb. 1. Beziehungen zwischen der Deckgebirgsdicke und den Eigenschaften der Kohle. Punkte: Flüchtige Bestandteile in der Reinkohle (Prozent). Ringe: Wassergehalte in der Rohkohle (Prozent), meist nur Braunkohlen. Die Tendenz zur Abnahme ist in beiden Fällen erkennbar, aber es besteht keine einfache und gerade Proportion. Die Örtlichkeiten der Proben sind aus Tabelle 2 ersichtlich.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Kootenay-Schichten, wie Tektonik und Sedimentdicke die Reife der Kohlen regeln.

Daß schließlich die Reife der Kohle, ganz abgesehen vom Einfluß ihrer Gefügebestandteile, nicht nur von einem einzigen Faktor abhängig ist, zeigen alle großen Steinkohlenbecken. Warum nimmt in Westfalen bis Nordfrankreich und in Oberschlesien und in den Appalachen die Metamorphose der Kohle mit der stratigraphischen Teufe also gegen die jüngeren Schichten und mit der abnehmenden Faltungsintensität ab? Warum aber ist in der Bochumer Mulde die Kohle mehr inkohlt (Brune 1930) (23) als auf den sie begleitenden Sätteln? Hier fand schon während der Faltung eine Entlastung statt. Gleichartige Beispiele wurden als „vertikale Teufenunterschiede" zusammengefaßt.

Die Überschätzung der Temperaturen für die Kohlebildung, wie man sie mitunter bei Chemikern findet, beruht auf Versuchen über den Eintritt von Veränderungen. Wenn beispielsweise Erdmann (1924) (1) sich die Steinkohle bei mehr als 300° entstanden dachte, weil sie erst bei dieser Temperatur Gas zu entwickeln beginnt, so setzt das voraus, daß diese Kohle bei Atmosphärendruck und niedriger Wasserdampftension entstanden sei, was indiskutabel ist, wenn man ihre Lagerstätten in Betracht zieht. Auch Darrahs (1941) (24) Versuche über die unter dem Heizmikroskop bemerkbare beginnende Zersetzung der Gefügebestandteile haben beschränkten Wert für die Bildungstemperatur. Ebensowenig kann man mit Neumann (1934) (26) aus der Schmelztemperatur von in der Kohle eingeschlossenen Harzen die Temperatur der Kohlebildung ermitteln, es sei denn, daß man zugibt, daß diese Temperatur nicht erreicht worden ist, weil die Harze sonst deformiert worden wären. Sonach käme für westfälische Flammkohle nicht 230—300° und für chinesische Bitumenkohle nicht 265—320° als Bildungstemperaturen in Betracht, sondern tiefere. Hingegen dürfen Schädigungen und Farbreaktionen an Pollen, Sporen und Harzen, wie sie Zetzsche und Kälin (1932), Kirchheimer (1933) (28) und neuestens Darrah (25) zur Temperaturbestimmung heranziehen, eher in Betracht kommen. Alle diese Autoren kommen zu Temperaturen in jenen bescheidenen Grenzen, wie sie auch aus geologischen Gründen gefolgert werden. Auch das Kutin der Bothodendronkohle von Moskau und karbonischer Mattkohle Englands ist im Vergleich zu rezentem Kutin, wie Legy und Wheeler (1929) (29) zeigten, nur wenig verändert. So kommt denn auch Gilbert Thiessen (1936) (30) bei Diskussion dieser Frage zu dem Ergebnis, daß nicht viel mehr als 100° als Temperatur der Steinkohlenbildung anzunehmen ist.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Temperaturen von einigen Hundert Graden kommen demnach nur für den unmittelbaren Eruptivkontakt in Frage. Aber auch hier fallen Versuche wie jene von Mc. Farlane (31) aus, bei denen die Temperatur aus der Entgasungstemperatur der betreffenden kontaktveredelten Kohlen zurückgerechnet wird. Für den Eruptivkontakt eine Druckentlastung anzunehmen, wie es geschehen ist, ist wegen der Minerale des Kontakts und des Eruptivgesteins selbst nicht angängig. Andererseits darf man, auf J. Königsbergers Darlegungen fußend, zugeben, daß man nicht immer genötigt ist, Magma von rund 1000° als Erreger anzunehmen. Von den Basalten des Vogelsberges ist bekannt, daß sie erstaunlich geringen Einfluß auf die Kohle haben konnten. Geht man aber aus dem Bereich der Kontaktverkokung heraus, so wird man auch hier weit unter dem Temperaturbereich des Magmas bleiben.

Außerhalb des Eruptivkontakts kommt der Temperatur noch der bereits von Bergius (1913) (32) bei seinen ersten Versuchen betonte Einfluß als Reaktionsbeschleuniger zu, wofür schon mäßige Temperaturerhöhungen wirksam sind. Unter diesem Gesichtspunkt möge auf Juraskys (102) Studien an den sudetendeutschen Braunkohlen verwiesen werden, auf welche unten näher eingegangen wird.

In diesem Zusammenhange mögen auch hier die sehr beachtlichen Versuche von E. Hoffmann (1936) (33) betont werden, die dartun, daß allein hohe Drucke schon imstande sind, den Grad der Inkohlung verschiedener Steinkohlen weiterzutreiben.

Eigene und anderer Wahrnehmungen im Laboratorium und der Natur sprechen demnach dafür, daß neben dem statischen Druck noch kinetischer Druck für die Metamorphose der Kohle in Betracht kommt, daß die Temperatur auch bei Steinkohlen in mäßigen Grenzen, vielleicht wenig über 100° blieb, welche Temperatur nur bei jenen Kohlen stark überschritten wurde, die im unmittelbaren Eruptivkontakt veredelt wurden.

In seinem letzten Werke hat Stainier (1943) (27) nochmals und tief eindringend die Ursachen diskutiert, die der Hiltschen Regel zugrunde liegen. Ebenso wie ich, kommt er zum Ergebnis, daß nicht nur ein Faktor die Regel zustande kommen läßt. Stainier legt dabei aber mehr Gewicht auf sedimentäre Unterschiede als auf physikalische Einflüsse. Daß dies hinfällig ist, ging schon aus der Studie hervor, die ich zusammen mit Koderhold

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

(1930) (110) am Vitrit einer größeren Zahl von Kohlenflözen ungefähr gleicher Tiefenlage im südlichen Oberschlesien durchgeführt hatte. Auch der Vitrit allein zeigt die Hiltsche Regel. Er zeigt sie in potenzierter Weise, weil in diesem Teil Oberschlesiens zur Hiltschen Regel noch die in West-Ost-Richtung abnehmende kinetische Metamorphose hinzukommt.

Richtig ist, wie Stainier anschließend an Duparque hervorhebt, daß in verschiedenen Karbonbecken die jüngeren Kohlen duritreicher sind, daß daselbst auf vorwiegend vitrische Kohlen, Sporen- und Kutikulakohlen folgen. Es ist nicht zu bezweifeln, daß bei Durchschnittsproben der Flözkohlen diese petrographische Eigenschaft sich in der Menge der flüchtigen Bestandteile auswirkt. Man darf aber, wie gerade gesagt, damit nicht die Hiltsche Regel erklären. Man kann diese Regel nicht auf klimatische Faktoren, beispielsweise Schwefelregen, wie sie Stainier zum Vergleiche heranzieht, zurückführen. Die genannten petrographischen Unterschiede verschiedener Karbonkohlen sind eine Folge des schon von H. B. Geinitz betonten Florenwechsels erst Lepidodendron-, dann Sigellarien- und schließlich Calamitenschichten. Man braucht nur die Tracht der Bäume zu berücksichtigen, so wird es begreiflich, daß Lepidodendron mehr Vitrit liefert als Sigillaria, und es ist durchaus möglich, daß letztere auch mehr Megasporen lieferten. Mit dem Zurücktreten der Sigillarien nimmt auch der Einfluß der Calamiten und Cordaiten zu und damit die stärker als früher bemerkbare Häufung von Kutikulen.

Ich wiederhole, die Hiltsche Regel zeigt sich allein schon im Vitrit und ist nicht Folgeerscheinung der Sedimentationsbedingungen.

Autoklavenversuche.

Alle experimentelle Kohlenherstellung läuft bisher auf Autoklavenversuche hinaus, weil man mit dem Druck allein zu langsame Reaktionen erhält und weil man das Entweichen gasförmiger Reaktionsprodukte verhindern muß. Andererseits hat Bergius schon 1913 (32) gezeigt, daß der Inkohlungsprozeß zum Stillstand kommt, wenn nicht Druckerhöhung angewendet wird. Um die Erscheinungen der Kontaktveredelung der Kohle experimentell zu verfolgen, machte ich Autoklaven-Inkohlungsversuche mit niederwertigen Braunkohlen. Ich erhielt Produkte, die die Eigenschaften von Glanzbraunkohlen und auch von Steinkohlen aufwiesen. Wenn Groppu. Bode (1932) (4) diese Reaktionsprodukte als Schwelkokse bezeichneten, so erledigt sich das durch Schwelanalyse der betreffenden Autoklavenkohlen, die schon unter der Versuchs-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

temperatur von 250° die Entwicklung von flüchtigen Bestandteilen aufzeigten. Gropp u. Bode experimentierten mit einem Preßdruckautoklaven und konnten dadurch ebenfalls niederwertige Braunkohle in Glanzbraunkohle überführen. Zur Zeit, als diese Autoren ihre Versuche veröffentlichten, hatte ich die hier mitzuteilenden Experimente schon zum größten Teil beendet. Mir war klar, daß eine Belastung der Kohle im Autoklaven notwendig ist, wenn das Reaktionsprodukt auch äußerlich den betreffenden Kohlen ähnlicher sein sollte. Genötigt, mit bescheidensten Mitteln auszukommen, arbeitete ich mit dem alten Autoklaven, in dem einst Fleissner seine Kohlentrocknungsversuche durchgeführt hatte und den mir Herr Prof. Dr. R. Müller (damals in Leoben) entgegenkommendst lieh. Die Dichtung wurde im Vergleich zu meinen allerersten Versuchen verbessert. Die Ergebnisse deckten sich schon im Anfang mit jenen, die Bode u. Gropp dann veröffentlichten. Ich setzte im Laufe der Jahre mit Unterbrechungen die Versuche fort, erstens weil sich Hinweise für eine praktische Verwertbarkeit auf dem Gebiete bindemittelloser Kohlenbrikettierung ergaben, die anderen Ortes weiter ausgeführt werden sollen, und zweitens, weil meine einfache Apparatur es ermöglichte, den Inkohlungsvorgang messend oder wenigstens schätzend zu verfolgen. Dies ist auch der Grund, warum ich die Ergebnisse jetzt noch aus der Hand gebe. Nacheinander seit 1930 waren mir bei der Durchführung der Versuche behilflich die Herren Ing. Koderhold, Ing. Weber, Dr. Frank Schwarz und Dr. Siegl, denen ich gern auch hier für die aufgewendete Mithilfe und Geduld danke.

Zur Hauptsache wurde mit Köflacher Kohle experimentiert. Nach grundsätzlicher Aufklärung wurde die Kohle von Zangtal im Köflacher Reviere (beide helvetisch), die Kohle vom Hausruck in Oberösterreich (Pliozän), jene von Ratten (Helvet), in einem Falle auch von Göding in Mähren (Pliozän) zum Vergleich herangezogen.

Rolle des Wassergehaltes.

Grundsätzlich arbeitete ich mit bergfeuchter Kohle. Eigene Versuche hatten mich schon lange erkennen lassen, daß das Austrocknen der Braunkohle an der Luft ein nicht ganz reversibler Vorgang ist. Beim Trocknen wird die Kohle zudem oxydiert, so daß in Luft ein Trocknen zur Gewichtskonstanz nicht möglich ist. Ich habe wiederholt darauf verwiesen, daß die Oxydation bei nur wenige Minuten dauernder Trocknung schon an der Schwärzung der Risse im Dünnschliff „Oxydationsrisse", sichtbar wird. Bei

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

den obenerwähnten Versuchen mit verschiedenartigen Braunkohlen, die bei 100° getrocknet und dann wochenlang in mit Wasserdampf gesättigter Luft belassen wurden, stieg nie der Wassergehalt auf die frühere Größe. Ich habe immer betont, daß die Kohle, die der Chemiker analysiert, nicht ident ist mit jener, die der Bergmann fördert. Eingehende Versuche über die Art der Wasserbindung in Kohlen von Agde und Vetter (1939) wurden ebenfalls oben erwähnt.

Ich habe im Autoklaven keine Parallelversuche gemacht, um zu ermitteln, welche Unterschiede sich bei Verwendung gleicher Kohle im lufttrockenen und bergfeuchten Zustand zeigen, aber ich weiß von meinen Brikettierungsversuchen her, daß diese Unterschiede sehr fühlbar sind. Staubfreier Grieß von stückiger Weichbraunkohle ergab ohne Bindemittel leidlich feste Briketts, wenn bergfeuchte Kohle verwendet wurde, nicht aber bei lufttrockener Kohle.

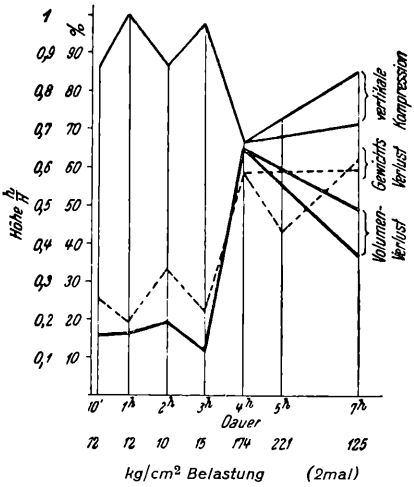

Abb. 2. Autoklavenversuche mit Xylit von Köflach. Formähnliche Deformation bei wenig verschiedener Belastung, aber verschiedener Versuchsdauer (200°). Kompression: $\frac{h}{H} = \left\{\begin{matrix}\text{Höhe}\\ \text{des}\\ \text{Würfels}\end{matrix}\right\}$ nach dem Versuch / vor dem Versuch.

Einfluß der Versuchsdauer.

Es scheint, daß (Abb. 2) eine Versuchsdauer von mehr als 3 Stunden die Wirkung verstärkt, aber auch unregelmäßig macht. Bis zu 3 Stunden war nicht viel Unterschied bemerkbar. Über viel längere Versuchsdauer vgl. Lit. (29).

Einfluß der Temperatur (Abb. 3).

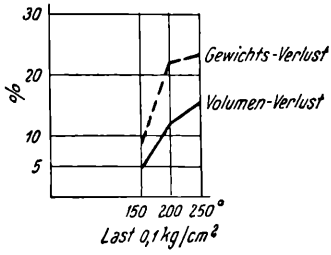

Abb. 3. Autoklavenversuche mit Köflacher Moorkohle. Einfluß der Temperatur.

Es ist leicht einzusehen, daß Temperatursteigerung die Wirkung erhöht. Um auf die Reaktionsbeschleunigung

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

nicht zu verzichten, um andererseits nicht Temperaturen zu wählen, die selbst bei der Steinkohlenbildung in der Natur allzuweit unterschritten werden, wurde für die Normalversuche die Temperatur 2 Stunden lang auf 250° gehalten.

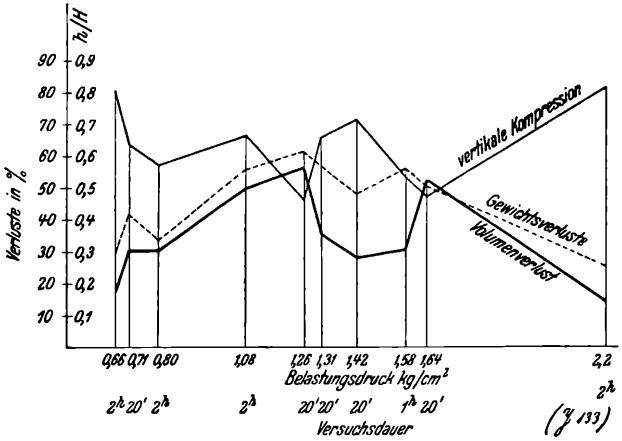

Abb. 4. Autoklavenversuche mit Köflacher Xylit bei 250° und steigender Belastung. Formähnliche Kompression. Versuchsdauer jeweils angegeben.

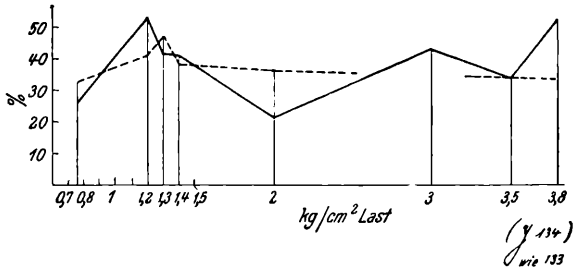

Abb. 5. Autoklavenversuche mit Köflacher Xylit. Einfluß der Belastung auf den Volumenverlust (gestrichelt) und den Gewichtsverlust (volle Linie). Versuchsdauer immer 2 Stunden. — Plastische Deformation.

Einfluß der Last (Abb. 4—6).

Mit zunehmender Last nahm nicht nur das Maß der Zusammendrückung in der Druckrichtung (h/H, d. i. Höhe nach dem Versuch/Höhe vorher) zu, sondern auch der totale Volumenverlust und Gewichtsverlust. Die Beziehungen sind jedoch viel unregelmäßiger

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

als man erwarten sollte. Die vertikale Zusammendrückung ist von deutlichstem, wenn auch nicht alleinigem Einfluß auf die Volumenabnahme. Man könnte meinen, daß solche Versuche wegen der Möglichkeit seitlichen Ausweichens nebensächlich sind. Die Naturbeobachtung an Baumstämmen, die in Kohlenflözen eingeschlossen sind, lehrt aber, daß sich darin die Deformation in gleicher Weise vollzogen hat.

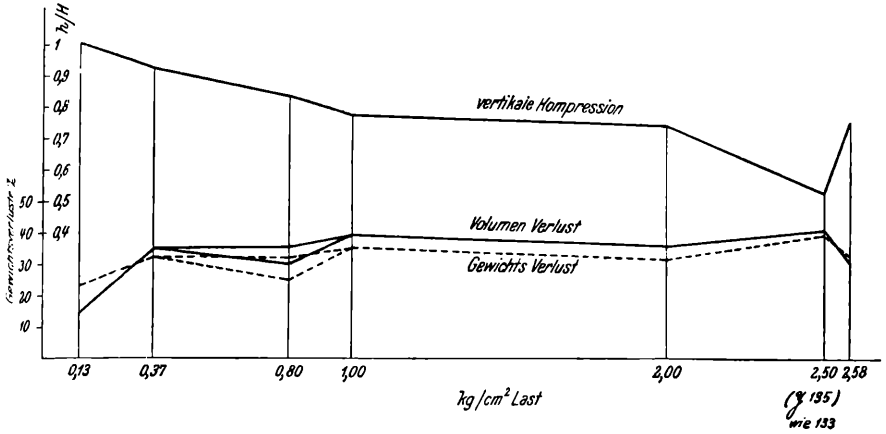

Abb. 6. Autoklavenversuche mit Köflacher Moorkohle. Einfluß der Belastung bei 250° und 2 Stunden Versuchsdauer.

Volumen- und Gewichtsverlust.

Bei allen Versuchen kam ein Volumen- und Gewichtsverlust zum Vorschein. Beide verlaufen gleichsinnig, sind jedoch unter Umständen ziemlich unregelmäßig. Meist ist der Gewichtsverlust prozentuell etwas größer als der Volumenverlust. Wurden die Versuchskörper stark deformiert, so konnte die Volumenabnahme nur annäherungsweise ermittelt werden. Ebenso waren die Gewichtsbestimmungen nicht genau. Da die Kohlen bergfeucht eingesetzt wurden, mußten sie auch nach dem Versuch feucht gewogen werden. Sie wurden naß aus dem Autoklaven entnommen und blieben vor der Wägung solange liegen, bis sie oberflächlich abgetrocknet waren, ein Vorgang, der natürlich recht ungenau ist, immerhin aber noch einen Vergleichsmaßstab bietet.

Aber auch wenn Versuchssubstanz und Reaktionsprodukt auf lufttrockene Substanz umgerechnet wurden, zeigte sich eine Gewichtsminderung. Der Gewichtsverlust ist demnach nicht nur eine

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Folge von Entwässerung, worauf unten noch näher eingegangen wird.

Vorgang.

Etwa 150 Versuche wurden durchgeführt.

Verwendet wurden ungefähr würfelförmige, aus der bergfeuchten Kohle geschnittene Versuchskörper. In Fällen, wo das nicht möglich war, wurde die Versuchssubstanz in eine Presse gelegt. Auf einer Eisenplatte stand ein kurzes Rohrstück, in das ein gut eingepaßter Stempel eingesetzt werden konnte. Würfel oder Stempel wurden mit Gewichten belastet.

Die Vorversuche führten zu nachstehendem Normalversuch: Temperatur 250°, diese wurde 2 Stunden lang eingehalten. Der Autoklav blieb bis zur Erkaltung geschlossen. Belastungsdruck meist annähernd 1 kg/cm².

Der Druck im Autoklaven betrug 48—50 Atmosphären. Der Autoklav wurde immer hoch mit Wasser angefüllt.

Im Gegensatz zu der Apparatur von Gropp u. Bode war bei unseren Versuchen der dynamische Druck kleiner als der statische. In Einzelfällen wurde der dynamische Druck auf über 2 und über 4 kg/cm² gebracht, ohne daß wesentlich verschiedene Resultate erzielt wurden. In der Natur war in gefalteten Schichten der dynamische Druck größer als der statische.

Unterschiedliches Verhalten von Moorkohle und Xylit sowie rezentem Holz.

Moorkohle zeigte bei unseren Versuchen eine formbewahrende Volumenverminderung. In allen drei Richtungen zeigte der Würfel eine Seitenverkürzung, wobei jene in der Druckrichtung am größten war. Bei 250° lag die Volumenabnahme zwischen 30 und 40%, die Gewichtsabnahme zwischen 30 und 35%. Die Kohle wurde schwarz, der Bruch aber war schiefrig. Sie entsprach durchaus dem Durit.

Ganz im Gegensatz hiezu wurde der Xylit mehr oder weniger breit gequetscht. In einer Reihe von Versuchen war er so weich geworden, daß sich in ihn ein Relief, z. B. eine Münze, scharf einprägen ließ. Wurde der Würfel in der Richtung der Holzfaser gedrückt, so wurde diese gestaucht und verbogen. Quer zur Holzfaser gedrückt, kippten die Markstrahlen um und glitten aufeinander ab, die Jahresringe wurden also in gleicher Weise, wie man es bei Kohlenhölzern zu sehen gewohnt ist, deformiert. Die Kohle wurde glänzend schwarz mit muscheligem Bruch. Manche Xylite wurden

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

formähnlich komprimiert, dann blieb die Grundfläche kaum verändert und nur die Höhe war auf $^4/_5$ bis $^1/_2$ reduziert. Volumen- und Gewichtsverluste lagen zwischen 30 und 50%. Stets war typischer Vitrit entstanden. Wenn Donath im Hinblick auf die Glanzkohlen immer betonte, der glänzende muschelige Bruch sei ein Zeichen dafür, daß die Kohlen einmal weich gewesen sind, so könnte man die plastische Deformation der Xylite als eine Bestätigung dafür auffassen.

Analoge Versuche mit frisch geschlagenem „grünem" oder auch mit trockenem Fichtenholz ergaben braune, zerreibliche, fusitähnliche Substanzen. Die Würfel waren längs der Jahresringe und Markstrahlen zusammengestaucht, wenn der Druck senkrecht auf der Holzfaser lag. Druck in der Richtung der Holzfaser zerdrückte oder verbog die Versuchskörper. Volumenverluste von 50 und 70% wurden je nach der Deformation vermerkt, die Gewichtsverluste lagen auf Trockensubstanz umgerechnet um 60%.

Daß es nicht angängig ist, mit Gropp u. Bode von einem Schwelprozeß im Autoklaven zu sprechen, lehrt, daß auch bei unseren mit Moorkohle und mit Xylit durchgeführten Versuchen keine Bildung von Teer und von Schwelgasen eintrat, sonst wäre nach Erkalten des Apparates ein Überdruck zu konstatieren gewesen, was nie der Fall war. Das Wasser war dunkel gefärbt von gelöster organischer Substanz und hatte intensiven Geruch, aber keinen Teer.

In der Gegenwart reichlichen Überschusses heißen Wassers liegt ein großer Unterschied zwischen diesen Autoklavenversuchen und der natürlichen Inkohlung. Der Wasserzusatz ist, wie Bergius (1913) in seinen grundlegenden Versuchen schon ausführte, notwendig wegen der exothermen Zersetzungsreaktionen, die sonst eintreten würden. Die Färbung des Wassers zusammen mit dem ansehnlichen, auf Trockensubstanz umgerechneten Gewichtsverlust der Probekörper zeigen an, daß viel in Lösung gegangen ist. Mir sind Untersuchungen über die chemischen Vorgänge dieser Naßinkohlung im Wasser nicht bekannt. Hingegen verweise ich auf Untersuchungen von Schwalbe u. Neumann (1935) (34) über Druckerhitzung von Holz auf 180° in wässerigen Lösungen säureabspaltender Salze, wobei sich eine Naßverkohlung unter Entwicklung von Methylalkohol und organischer Säuren, vorwiegend Essigsäure, vollzog, ohne Teerbildung.

Klein (1932) (35) und später Skutl (1936) (36) haben die Vorgänge bei der Dampfdruckerhitzung von Weichbraunkohlen studiert. Ersterer entschied sich für Umwandlung von Huminsäure unter Abspaltung von CO_2, H_2O, CO und CH_4 in hydrophobe Humine,

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

während Skutl durch Versuche mit verschiedenen Salzlösungen, HCl u. a. m. zeigen konnte, daß vor allem eine Schrumpfung der Kapillaren eintritt und durch Huminbildung hydrophobe Eigenschaften hinzukommen.

Das Ergebnis obiger Versuche ist: Xylit liefert ein Reaktionsprodukt von der Beschaffenheit des Vitrits, Moorkohle des Durits und trockenes oder grünes Holz ein solches mit fusitähnlichen Eigenschaften.

Der Versuch bestätigt in den ersten beiden Punkten nur das, was nach den Erkenntnissen der Kohlenpetrographie zu erwarten war.

Versuche mit pflanzlichen Vertorfungs- und Fäulnisprodukten.

So wie Gropp u. Bode hatte auch ich mit faulendem Holz und Bestandteilen aus Torflagern experimentiert. Die Ergebnisse decken sich, zum Teil auch können sie erweitert werden. Faulendes Zirbenholz, von umgefallenen Baumstämmen an der Baumgrenze herrührend, lieferte je nach dem Grade der Fäulnis schwarze oder braune fusitische Masse oder schwarzen, glänzenden Vitrit. Ebenso zeigten sich Vitritstreifen in fusitischer oder lignitischer Masse bei Holz, das an der Oberfläche der Torflager im Ennstale gesammelt wurde. Auch scheinbar noch frisches Holz aus solchem Torf lieferte eine vitritische Masse mit Schmelzerscheinungen. Die Volumenverluste bewegten sich zwischen 50 und 70% und die Gewichtsverluste im feuchten Zustand in ähnlichen Größen. Die Zellwände bei allen diesen Hölzern zeigten vor dem Versuch Zellulose.

Zwei Hölzer, die ich der Gefälligkeit von Herrn Prof. Ing. Peter verdanke und die bei der Torfgewinnung in Buchscheiben in Kärnten ausgegraben wurden, seien besonders erwähnt. Beide Hölzer langten schwammigweich, im feuchten Zustande ein. Eines war lichtbraun, beim Austrocknen wurde es hart, blieb holzbraun, bekam aber muscheligen und glänzenden Querbruch. Im Autoklaven in der Presse mit 2 kg/cm² gedrückt (250°), lieferte es eine mürbe, schwarze vitritische Masse. Der zweite Stamm, ebenfalls von schwammigweicher Beschaffenheit und schwarzbrauner Farbe, war bei einer Belastung von 1 kg/cm² in geschmolzenem Zustande durch die engen Fugen der Presse ausgequetscht worden.

Dopplerit von Aussee verliert beim Trocknen an der Luft 76% Wasser, im Autoklaven feucht eingesetzt betrug der Verlust:

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

bei 150°			bei 250°, 2h		
unbelastet					i. d. Presse
2h	4h	90 g/cm²	500 g/cm²	1,5 kg/cm²	2,3 kg/cm²
64%	72%	51%	82%	78%	92%

Die Volumenverminderung ist dabei von gleicher Größe wie die entsprechenden Wasserverluste. Es ist also nur im letzten Fall vielleicht etwas in Lösung gegangen. Im Mikrotomschnitt zeigt frischer Dopplerit naturgemäß keinerlei Struktur. Der glänzende, spröde, schwarze Kuchen, der bei den Versuchen erhalten wurde, war im Anschliff ebenso strukturlos. Bei Chromsäureätzung bildeten sich auf ihm kleine blasenartige Grübchen.

Trockener Grastorf wurde nicht merklich inkohlt, verlor aber die Quellbarkeit. Der Volumenverlust und der Gewichtsverlust waren groß.

Die Versuche zeigen, daß der Vertorfungs- oder Fäulnisgrad der Hölzer von großer Bedeutung ist. Hölzern, die keine oder fast keine Zellulose mehr enthalten, fehlt gewissermaßen das feste Gerüst. Sie werden erweicht oder schmelzen zusammen.

So erklärt sich auch das obenerwähnte unterschiedliche Verhalten der Xylite, manche wurden ganz erweicht, andere formähnlich zusammengedrückt. Auch hierbei ist der unter dem Mikroskop bzw. durch Mikroreaktionen erkennbare Zellulosegehalt maßgebend.

Die stoffliche Verschiedenheit der Xylite eines Flözes war mir schon bei verschiedenen österreichischen Vorkommen aufgefallen und geht eindringlich aus Angaben von W. Fuchs (1930) (37) über den Xylit von Türnich bei Köln hervor, wo im entbituminierten Xylit der Gehalt an Zellulose zwischen 1,8 und 39,9% und jener an Lignin zwischen 57,8 und 97,3% schwankt.

Chemische Änderungen bei der Autoklaveninkohlung.

Um den schon eingangs erwähnten Einwand, daß meine Inkohlung im Autoklaven ein Schwelprozeß gewesen sei, zu widerlegen, verweise ich auf Verschwelungen bei 250°, die mit lufttrockenen Kohlen meiner ersten (1928) Autoklavenversuche durchgeführt wurden.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Schwelversuch bei 250°.
Herkunft: Köflach, Karlschacht.

Autoklavenerhitzung 2h	Moorkohle	Xylit	Moorkohle	Xylit
	150°		250°	
Versuch Nr.	6	5 b	24	34
Schwelanalyse:				
Rückstand	77,0%	88,6%	86,2%	92,0%
Teer . .	Spur	—	—	—
Schwelwasser . . .	19,2%	9,0%	10,2%	6,4%
Gas (Differenz auf 100) .	3,8%	2,4%	3,6%	1,6%

(Dr. Frank Schwarz)

Überdies verweise ich auf die Schwelanalyse Seite 400.

Es ist ersichtlich und war zu vermuten, daß bei der Versuchstemperatur der Autoklaven die flüchtigen Bestandteile aus dem Reaktionsprodukt nicht ausgetrieben wurden.

Fleissner (1926) (38) hatte bereits darauf hingewiesen, daß bei der Dampfdruckentwässerung der Braunkohle nicht nur kolloidal gebundenes Wasser abgeschieden wird, sondern daß zugleich auch die Inkohlung weitergeht. Weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet liegen von Klein (35) vor. Im Anschluß an die schon erwähnten Feststellungen von Schwalbe (8) und Neumann (34) ist die Vermutung berechtigt, daß sauerstoffhältige Verbindungen von der Kohle abgespalten werden. Diese Abspaltung organischer Säuren schließt eine vorherige Sauerstoffaufnahme nicht aus. Bergius (1928) (39) verwies darauf, daß die Autoklaveninkohlung der Zellulose unter O-Aufnahme erfolgt, die nach W. Fuchs (37) 30 l pro 1 kg Material betrage. Daß die werdende Kohle stärkere Affinität zum Sauerstoff als umgebende Oxyde und Sulfate des Eisens hat, beweist die Entfärbung oder grüne Verfärbung roter Gesteine, die mit auch nur kleinen Flittern von Kohle in Berührung sind. Nie findet man Kohlenlager in roten Schichten. Das Eisensulfat des Sickerwassers wird zu Eisenkies reduziert.

Über die Änderungen im stofflichen Bestand der Kohle bei unseren Versuchen geben einige Analysen Auskunft, wobei ich jedoch betonen muß, daß der Köflacher Xylit, selbst wenn die Proben von einem Stamm abgesägt wurden, recht verschiedene Aschengehalte aufweisen kann.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Immediatanalyse mit feuchtem Versuchsmaterial.
Herkunft: Köflach, Karlschacht.

2h lang im Autoklaven 1 kg/cm² mit Ausnahme der Rohkohle

	Moorkohle				Xylit			
	roh	150°	200°	250°	roh	150°	200°	250°
	in Prozent				in Prozent			
Wasser	33,30	32,10	23,52	16,33	22,16	19,03	19,97	14,76
Asche	3,64	3,91	4,45	4,22	37,68	6,98	13,82	16,62
Flüchtige Bestandteile	32,10	30,56	35,50	37,08	26,42	43,23	36,69	34,72
Reinkoks . .	30,96	33,43	36,53	42,37	13,74	30,76	29,52	33,90
Verbrennungswärme im Kalorimeter in Wärmeeinheiten	4019	4132	4969	5841	2308	5278	4438	4109
Auf Reinkohle berechnet fixer Kohlenstoff	49,1	52,2	50,7	53,3	34,2	41,6	44,6	49,1

(Dipl.-Ing. Weber)

Immediatanalyse mit lufttrockener Autoklavenkohle.
Herkunft: Köflach, Karlschacht.

2h im Autoklaven

	Moorkohle	Xylit		
	250°	150°	200°	250°
	in Prozent			
Versuch Nr.	13	5 b	3 b	7
Wasser	8,02	8,30	4,81	5,33
Asche . . .	5,62	10,91	2,67	4,42
Flüchtige Bestandteile	41,75	47,75	57,94	50,30
Reinkoks . .	44,54	33,04	34,58	39,85
S verbrennlich . . .	0,45	0,46	0,72	0,42
Verbrennungswärme im Kalorimeter in Wärmeeinheiten	5780	5990	5270	6575
Auf Reinkohle berechnet fixer Kohlenstoff	51,6	40,9	37,4	44,2

(Dr. Frank Schwarz)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Schwelanalyse lufttrockener Autoklavenkohle.
Herkunft: Köflach, Karlschacht.

Vorbehandlung: Bei 150° 100 g/cm² 2h lang erhitzt		
Versuch Nr.	6	5b
Schwelung in der Aluminiumretorte bei 519° C	Moorkohle	Xylit
Gasausbeute bis 150°	130 ccm	100 ccm
„ „ 250°	180	125
Insgesamt 0° C 760 mm	1831 „	1688 „
Schwelwasser	35,75 %	26,40 %
Teer . .	4,01 %	11,55 %
Koksausbeute .	49,60 %	51,00 %
Gasausbeute . .	10,96 %	10,59 %
Koksbeschaffenheit	sandig	leicht gesintert

(Dipl.-Ing. Weber)

Prüfung auf organische Baustoffe der Kohle des Köflacher Karlschachtes:

	Moorkohle	Xylit
Feuchtigkeit	33,51 %	20,45 %
Asche .	3,20 %	1,78 %
Rein Lignin	58,00 %	64,52 %
Zellulose	30,76 %	4,77 %

(Dipl.-Ing. Weber)

Summarisch kann gesagt werden: Während der Xylit von Köflach bergfeucht und auf Reinkohle umgerechnet fixen Kohlenstoff von 42 oder 43 % aufweist, ist diese Zahl für Autoklaven-Xylit bei 250° inkohlt: 49 und 50 %. Der Heizwert, der für die Rohkohle mit 3500 Kalorien angegeben wird, liegt bei Briketts, die aus Grießkohle ohne Bindemittel bei 250° und etwa 1 kg/cm² hergestellt wurden, zwischen 5100 und 6100 Kalorien.

Ähnliche Werte wurden bei anderen Weichbraunkohlen erhalten. Die Reaktionsprodukte haben die Eigenschaften von Glanzbraunkohlen oder Flammkohlen.

Die Prüfung von Dünnschliffen der Autoklavenkohle im polarisierten Licht zeigte ein restloses oder (hie und da) fast restloses Verschwinden der Zellulose. Das stimmt mit unseren Wahrnehmungen an vielen Glanzbraunkohlen überein.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Man wird schwerlich mit Jurasky (1938) (40) behaupten können, daß hiebei Bakterienfraß eine Rolle spiele, denn es ist nicht denkbar, daß gerade in allen Glanzkohlenflözen Bakterien die Zellulose restlos aufgezehrt haben, zumal das Auftreten der Glanzkohle an erkennbare geologische Zustände gebunden ist. Das Vorkommen dieser Kohlen lehrt vielmehr, daß es die Metamorphose ist, welche in einem bestimmten Stadium die restliche Zellulose endgültig, auch wenn sie in großer Menge vorhanden war, zerstört. Ebenso ist es im Autoklavenversuch.

Folgende Versuche stützten diese Anschauung: Filterpapier gab beim Normalversuch eine lichtbraune, homogene, leichte Masse, die im Aussehen entfernte Ähnlichkeit mit Schwelkohle zeigte. Trockenes Holz gab, wie erwähnt, fusitähnliche Kohle. Wurden Sägespäne von Fichtenholz mit eingedickter Ligninlösung zu einem Brei angemacht und in der Presse unter Normalbedingungen inkohlt, so entstand eine schwarze, muschelig brechende Glanzkohle ohne Fusiteinschlüsse und ohne Zellulose. Überschüssige Ligninsubstanz führt also zu den Schmelzerscheinungen und zur Verdichtung der Kohle, wie auch die obenerwähnten Torfhölzer und zelluloseärmeren Xylite lehrten.

Insofern ist also an der Fischerschen Lignintheorie etwas Richtiges, daß ein Ligninüberschuß von maßgeblichem Einfluß auf die Beschaffenheit der Kohle ist. Ich hoffe, auf diesen Punkt später an der Hand von Zerlegungsanalysen zurückkommen zu können.

Andererseits aber zeigt gerade dieser Versuch, daß es nicht gerade nur die Huminsubstanzen sein müssen, welche das pechartige Aussehen der Kohle bedingen, wie man aus Versuchen von H. Stach (1933) (41) folgern könnte. Daß Humine, die bei der Inkohlung aus Humussäure auf Kosten von Lignin entstehen, diese Wirkung haben, bestätigten folgende Versuche:

Dopplerit von Aussee, der noch seinen natürlichen Feuchtigkeitsgehalt besaß, wurde mit Fichtenholzsägespänen zu einem dicken Brei verrührt und, um seitliches Ausweichen zu verhinden, in die Eisenhülse eingesetzt, im Autoklaven mit 1,4 kg/cm² belastet, 2 Stunden lang auf 200° erhitzt. Erhalten wurde eine vitritartige Masse, in der unter dem Binokular kein Holz oder fusitartige Substanz erkennbar war. Sägespäne mit dicker Humussäurelösung (Kasseler Braun) verknetet, ergaben bei gleicher Behandlung eine Art Streifenkohle, aus dünnen Bändern von Euvitrit und Fusovitrit bestehend. Senkrecht auf die Druckrichtung hatte sich Schichtung gebildet. Wurde ein Würfel von trockenem Fichtenholz mit

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wäßriger Humussäurelösung getränkt, so kam bei Belastung mit 0,7 kg/cm² ein komprimiertes Stück Holzkohle im Autoklaven zustande, bei dem das Spätholz vitritartig dicht war und nur das Frühholz zu poröser Holzkohle wurde.

Mikroskopische Struktur.

Die Reaktionsprodukte hatten die Kennzeichen der Glanzbraunkohle. Strich immer braunschwarz, Kalilauge tiefbraun gefärbt. Die Ligninreaktion war in Einzelfällen positiv, mitunter aber fehlte sie und blieb dann die Farbe lichtgelb.

Schon aus den grundlegenden Untersuchungen Iwasakis (42) weiß man, daß das Frühholz zuerst zerstört wird, strukturlos werden kann, während das Spätholz seinen Zellbau noch in voller Deutlichkeit zeigt. Genau dasselbe zeigen unsere Autoklavenversuche. Wenn Zellulose nach dem Versuch in Spuren erhalten blieb, war das immer nur in manchen der dickwandigen Spätholzzellen der Fall. Bei der Deformation des inneren Baues verschieben sich die Reihen der Spätholzzellen an den Markstrahlen, kippen paketweise um und stauchen das im Zellbau zerstörte Frühholz zusammen. Das zeigt ebenso die im Autoklaven quer zu den Jahresringen gepreßte Kohle wie die Naturbeobachtung der Kohle.

Die Zellwände der Holztracheiden werden dunkler, auch das Harz derselben, wie jenes in den Markstrahlen, dunkelt etwas nach. Es zeigt aber keine Schmelzerscheinungen.

Wiederholt ließ sich am Querschnitt feststellen, daß die Zellen der Autoklavenkohle kleiner geworden sind, und zwar sowohl das Lumen wie die Wände des Spätholzes, die dünner wurden. Manchmal auch lagen die Zellreihen des Spätholzes weiter auseinander. schienen also die Wände verdickt zu sein. Täuschungen sind bei all dem leicht möglich, weil an den Autoklavenkohlen die Schnittrichtung nicht so gut eingehalten werden kann wie beim Mikrotomschnitt des Xylits.

Durch Abzählen der Zellquerschnitte innerhalb eines Maßes am rohen und inkohlten Xylit schätze ich eine Verringerung der Zellgröße auf etwa drei Fünftel, eine Zahl, die der oben angegebenen Volumenschwindung in der Größenordnung gleichkommt.

Sehr oft haben die Querschnitte der Tracheiden der Xylite S- bis Z-förmige Gestalt. In den Tracheiden der im Autoklaven inkohlten Xylite erscheinen die Lumina des Frühholzes ganz komprimiert und verbogen bis geschlängelt, jene des Spätholzes entweder kaum verändert oder leicht verbogen bis oval komprimiert.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ergebnisse der Autoklavenversuche.

Wenn zu dem allseitigen Druck noch ein einseitiger Zusammenschub der Versuchskohle kommt, so nimmt bei 250° und einer Belastung von 1 kg/cm² die Moorkohle die Eigenschaften des Durits an, während der Xylit um so deutlicher zu Vitrit wird, je weniger Zellulose er enthält. Zellulosefreier Xylit erweicht unter diesen P/T-Bedingungen und wird plastisch deformiert unter Verbiegung der Holzfasern und Jahresringe und unter Gleitungen an Markstrahlen und im zerstörten Frühholz. Die Zellen schrumpfen auf schätzungsweise drei Fünftel. Gewichts- und Volumenverluste sind auf Lösungsvorgänge zurückzuführen. Es ist anzunehmen, daß beim Xylit mit steigender Temperatur und vermehrter Belastung die Erweichung sich verstärkt oder früher bemerkbar macht. Bei 250° wird die Zellulose zerstört, wie auch Gropp und Bode bemerkt haben. Trockenes und frisches, grünes Holz zeigten nach dem Versuch gewisse Ähnlichkeit mit Fusit. Überschuß an Lignin-substanz verstärkt die Erweichbarkeit des Xylits und trägt bei zur Homogenisierung des in Kohlen vorliegenden Gemisches pflanzlicher Reste.

Die Autoklavenversuche bestätigen nur das, was nach dem mikroskopischen Befund an Durit und Vitrit zu erwarten war, und so darf man tatsächlich eine Ähnlichkeit zwischen den Vorgängen im Autoklaven und bei der natürlichen Inkohlung annehmen.

Bindemittellose Brikettierung holzreicher Weichbraunkohlen.

Es ist bekannt, daß der Xylit beim Brikettieren von Erdbraunkohlen störend ist, weshalb die Stubben gern ausgehalten werden, zumal sich für den Xylit neue Verwendungen gefunden haben. Aus obigen Versuchen durfte erwartet werden, daß der Xylit infolge seiner Erweichung die Rolle eines Bindemittels übernehmen könne, wenn es gelingt, den Fleissner-Kohlentrocknungsprozeß in einem Gange mit einer Brikettierung zu verbinden. Im Laboratorium ist dies im Autoklaven ohne weiteres durchführbar. Man braucht die Kohle nur in einem auf einer Platte aufgestellten Rohrstück durch einen eingepaßten und belasteten Stempel zusammendrücken. Auf diese Art konnten aus Kohle des Hausrucks, die bergfeucht mit der Feile zerkleinert worden war, Briketts von über 6600 Kalorien Heizwert und sehr hoher (237 kg/cm²) Druckfestigkeit hergestellt werden. Ebenso wurden aus Köflacher Grießkohle, die frei von feinerer Kohle (Staub) war, wie schon oben

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

erwähnt, leidlich feste Briketts erhalten werden, was recht deutlich die Bindekraft des Xylits darlegt, weil bei anderen Brikettierungsverfahren gerade das Vorhandensein von Fein- und Feinstkohle erforderlich ist, um feste Briketts zu erhalten. Ohne Schädigung konnten die erhaltenen Briketts zwei Wochen lang im Wasser gelagert werden, und ich habe sie nun mindestens 13 Jahre lang im Zimmer liegen, ohne daß sich bei ihnen irgendwelche Verwitterungserscheinungen zeigen.

Die Umwandlung der Gefügebestandteile.

A. Holz.

Schon im Torf erweicht das Holz durch Zelluloseschwund und kann flachgedrückt werden. Verschiedene Weichbraunkohlenflöze zeigen ebenfalls breitgequetschte, liegende Stämme. Es scheint jedoch kaum beachtet worden zu sein, daß die Streifen des Holzbestandteiles der Kohle um so schwächer werden, je reifer die Kohle ist. Es gibt Weichbraunkohlenflöze, wo man 30 und 50 cm dicke, liegende Stämme beobachten kann, 15 und 20 cm Dicke ist bei solchen Stämmen in Mattbraunkohlenflözen noch häufig. In Glanzbraunkohlen übersteigt die Dicke des Vitrits nur ausnahmsweise 5—10 cm, gewöhnlich liegt sie bei 1—3 cm, und in Flammkohlen mißt sie in der Regel kaum 1 cm, wenn man auf reine Vitritlagen achtet. In Gas- und Fettkohlen sind sie noch etwas dünner, aber allmählich hört die Unterscheidbarkeit für das unbewaffnete Auge auf. Man ist auf eine Statistik aus mikroskopischen Untersuchungen statt bloßen Schätzungen nach dem Augenmaß angewiesen. Man könnte auf die hohlen Stämme der karbonischen Sporophyten hinweisen. Wahrscheinlich aber unterschätzt man den Anteil des Koniferenholzes an den Karbonkohlen. Ich habe bei einem Flöz der Lazisker Schichten Oberschlesiens 21 Fusitlagen u. M. geprüft und dabei in 16 Fällen einwandfrei araukaroide Tüpfelung konstatiert, 4 Fälle waren unentschieden, eine Probe sicher ohne Hoftüpfel.

Die im Dachgestein dieses Flözes enthaltene Flora zeigt durchaus nicht entsprechend viel Kordaiten. Schon R. Potonié (43) hat die Häufigkeit von Koniferenholz im Fusit festgestellt und Bode (44) will darin ein wesentliches Argument für die Waldbrandtheorie erblicken. Gibt man das alles auch zu, so folgt daraus doch noch nicht, daß uns die Koniferen der karbonischen Kohlen nur in Gestalt von Fusit überliefert sein sollen. Die Koniferennatur ist im Fusit mit einem Blick an einem rohen Bruchstück bei auf-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

fallendem Licht u. M. erkennbar, während bei Vitritproben in der Mehrzahl der Fälle eine Diagnose überhaupt nicht möglich ist. Es kann also in karbonischem Vitrit öfter Koniferenholz unerkannt stecken, so daß dieser Vitrit durchaus nicht immer aus den hohlen Lycopodiaceenstämmen entstanden sein muß.

Das Bild linsenförmiger Vitritquerschnitte, wie es D. White und R. Thiessen (1913) (45) für die Baumstämme der Kohlenflöze hervorgehoben hatten, ist keineswegs allgemein anzutreffen. Ich kenne nicht viel Kohlenflöze, die es so deutlich zeigen, wie die Bilder der genannten Autoren. Hieher gehört beispielsweise die Mattbraunkohle des Lavanttales und die Glanzbraunkohle bei Uzunköprü. Ich habe mich öfter bemüht, an sich im rechten Winkel

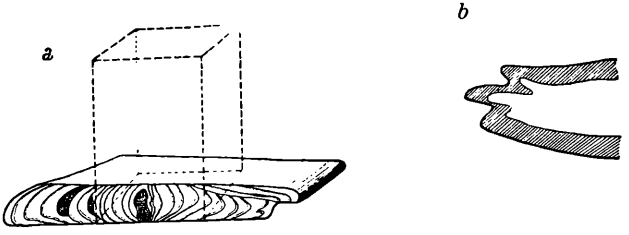

Abb. 7 a und 7 b. Plastisch deformierter, zu Vitrit umgewandelter Autoklavenxylit von Köflach. Plastisch deformierter, als Vitrit vorliegender Baumstamm im Glanzbraunkohlenflöz von Reichenburg.

schneidenden Kohlenfronten die Länge ununterbrochen verfolgbarer Vitritstreifen zu messen. Ich kam, ob ich nun miozäne, oligozäne oder karbonische Glanz- oder Steinkohlenflöze betrachtete, nie über etliche Meter Länge hinaus. Natürlich gehört ein Zufall dazu, daß ein Baumstamm in voller Länge von einer Abbaufront geschnitten wird.

Betrachtet man aber dickere Vitritlinsen tertiärer Kohlen, so sieht man oft Querschnitte von beistehender Gestalt. Die Jahresringe zeigen dieselbe Stauchfaltung, wie sie beim Autoklavenversuch unter Belastung zustande kam. Besonders auffallend ist diese Erscheinung im Kohlenflöz von Reichenburg, weil daselbst die Vitritstämme oft außen von einer dünnen kreideähnlichen Kruste überzogen sind, die in der schwarzen Glanzbraunkohle sehr deutlich die Umgrenzung des Stammes abzeichnet.

Weit verbreitet ist bei den Holztracheiden eine Z- oder S-förmige Kompression des Lumens. Sie ist die Ursache, daß ein Längsschnitt oft radiale und tangentiale Richtung zugleich auf-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

weist. Die Deformation des Holzes ist von Iwasaki (1920—1926) (42) schon vor langer Zeit geschildert worden und wurde an Hand der Hausruckkohle jetzt von Siegl (1943) (15) neuerlich eingehend dargelegt. Immer wird zuerst das Frühholz zerstört, an ihm und längs der Markstrahlen erfolgen Gleitungen, die zu Umkippungen von Paketen der Zellreihen führen. Wie es Sander in der Petrographie metamorpher Gesteine eingeführt hat, darf man von Teilbewegungen im Gefüge sprechen.

Wichtig ist, daß diese oft abgebildete Deformation des Holzes kein Beweis für tektonische Durchbewegung infolge tangentialen Druckes ist, wie das schon gelegentlich der Untersuchung der Hausruckkohle hervorgehoben wurde.

Nicht alle Kohlen zeigen solche Deformation des Holzes. So ist beispielsweise das Holz im Vitrit von Handlowa ebensowenig verunstaltet wie in der Kohle von Nowaki, aus welcher die Kontaktkohle von Handlowa hervorgegangen ist. Daß man kleine Stämmchen sehr häufig als runde, oft linsenförmige Querschnitte antrifft, ohne die Teilbewegung im Gefüge, ist verständlich, weil sie wegen der Kleinheit leichter ausweichen und darum geschont werden konnten.

Es wurde oben darauf verwiesen, daß bei den Autoklavenversuchen der Xylit zu um so glänzenderem und einst weicherem Vitrit wurde, je vollständiger die Zellulose durch biochemische Prozesse entfernt war. Mustert man Weichbraunkohlenflöze durch, so kann man nicht selten bemerken, daß Metaxylite, also Xylite, die vitritartigen Bruch aufweisen, gerade im unteren Teil der Flöze anzutreffen sind. Das spricht dafür, daß im unteren Teil das Holz vollständiger vertorft war als im oberen. Umgekehrt findet man in Mattbraunkohlen Xylitstreifen am ehesten im obersten Teil des Flözes. In der Mattbraunkohle von Trifail kann solcher sparsamer Xylit noch Zellulose zeigen, die sonst dem Flöz fehlt.

Im Autoklaven verschwindet die Zellulose bei 250°. Wie schon erwähnt, weisen die Vitrite der Glanzbraunkohlenflöze keine Zellulose mehr auf. Man wird unmöglich behaupten können, daß nur das zu Glanzbraunkohle, Flammkohle usw. geworden ist, wo durch biochemische Prozesse die Zellulose restlos aufgezehrt worden ist. Wie im Autoklaven wird Zellulose auch in der Natur bei den P/T-Verhältnissen, die zur Glanzbraunkohle führten, völlig zerstört. Selten sind die Fälle, daß ein Flöz aus zwei Teilen verschiedener Reife besteht, wie es die Kohle von Hart bei Gloggnitz und jene des Ellyschachtes bei Seestadtl zeigt (W. Petrascheck [1929] p. 19 [2]). Hier nahm ich in der Tat an, daß der untere Teil des Flözes einst Specktorf war, der obere noch nicht. Daß Erd-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wärme unter Belastungsdruck den Reifeunterschied nicht verursacht hat, zeigt die senkrechte Lage des Flözes von Hart.

Gelegentlich kann man in Mattbraunkohlenflözen Hölzer finden, deren Jahresringe als schwarz und braune Bänderung erscheinen. Das Frühholz wurde strukturlos, schwarz und matt bis seidenglänzend, das Herbstholz zeigt u. M. deutlich die braunen Holztracheiden. Man kann im Querschnitt linsenförmige Baumstämme sehen, deren Kern schwarzer Xylit, die Hülle Vitrit ist. Hier scheint das harzreiche Kernholz, dessen Zellulose durch das Harz geschützt ist, im Vertorfungsgrade zurückgeblieben zu sein. In Glanzbraunkohlenflözen beobachtet man mitunter hochglänzenden Vitrit, der dem unbewaffneten Auge sehr deutlich an Verschiedenheiten des Glanzes die Anschnitte der Jahresringe zeigt. Man ist erstaunt, wie wenig davon u. M. im durchfallenden Licht erkennbar geblieben sein kann. Erst durch Infrarotaufnahmen (F. E. Klingner [1934]) oder durch Innenreflexe bei Dunkelfeldbeleuchtung wird etwas von der Holzstruktur sichtbar. Der Fall ist gar nicht selten, daß beim Vitrit alpiner Glanzbraunkohle oder bei der Nelsonschachtkohle von Osseg nur mehr an den geregelt liegenden Harzpfropfen die Holznatur erkannt werden kann. Im Vitrit von Handlowa kann man, die straff komprimierten Tracheiden verfolgend, sehen, wie die Zellwände dünner und dünner und schließlich unkenntlich werden. Es ist, als ob die Wände resorbiert werden. Man kann Herbstholzringe sehen, deren Zellen noch gut erhalten sind, und Ringe, deren Zellen ebenfalls zerstört sind, man kann auch Pakete von erhalten gebliebenen Zellen in strukturlosem Herbstholz schwimmend bemerken. Darin darf man Dokumente für verschieden starken biologischen Zersatz erblicken, der bei weiterer Metamorphose konserviert wurde.

Bisher gelang es mir nicht, unter den Vitrithölzern tertiärer Braunkohlen Laubhölzer zu beobachten. Dahingegen sind aus deutschen Braunkohlen Palmhölzer bekannt, und aus bis jetzt drei alpinen Weichbraunkohlen Osmundaceenrhyzome, deren Gefäßbündel als sehr dünne Vitritstreifen oder (Querbruch)-Kreise schon dem unbewaffneten Auge entgegentreten, beschrieben durch E. Hofmann (1926) (44) von Ratten, in gleicher Weise aber auch in Hart und in Tauchen zu finden. Treppengefäße sind auch in anderen tertiären Kohlenflözen, z. B. Trifail, wahrnehmbar, aber doch bei weitem nicht so häufig wie in Karbonkohlen, woselbst beispielsweise viele Dünnschliffe von Tonsteinen aus Oberschlesien und Westfalen gerade Treppengefäße immer wieder einschließen.

Man darf behaupten, daß ebenso wie im Xylit auch im Vitrit nur eine Auslese der Hölzer vorliegt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

B. Fusit.

Das Problem der Entstehung des Fusites ist oft erörtert worden. Die Darlegungen R. Potoniés (1929) (45) zur Begründung der Waldbrandtheorie sind derart eindrucksvoll, daß auch ich eine Zeitlang daran glaubte, obwohl mir die Einwendungen bewußt waren. Dreierlei Wahrnehmungen sind es, die mit der Waldbrandtheorie schwer vereinbar sind, das Zusammenvorkommen von Harz mit Fusit, das auch ich bestätigen kann, die Inkohlungsreihe der Fusite und schließlich die Art des Vorkommens (46).

Ich beginne mit dem letzteren, wobei ich z. T. schon Betontes wiederholen muß. Es gibt Flöze, die ganz voll von Fusitlagen sind, und Flöze, denen diese völlig fehlen. Flöze, ja Flözgebiete, in denen es im Zeitmaßstabe Schwarzbachs (1942) (47) alle 100 bis 200 Jahre einen Wald- oder Moorbrand gab, und Flöze bzw. Flözgebiete, in denen es 60.000 Jahre lang keinen gab. Wenn die Flöze unter gleichen Bedingungen, z. B. als Küstensümpfe entstanden sind, wie jene der Ostrauer Schichten in Oberschlesien, so ist kaum zu begreifen, warum es eine Zeitlang „alle Augenblicke" einen Waldbrand gab und dann wieder 700.000 Jahre lang gar nicht. Das „Gar nicht" ist in diesem Falle allerdings ein wenig einzuschränken, denn so ganz ohne Fusit, wie ich seinerzeit annahm, sind die Alphabetflöze von Mährisch-Ostrau doch nicht, immerhin ist ein krasser Unterschied, auch bestehen die dünnen Häute hauptsächlich aus Fusovitrit. In verschiedenen Glanzbraunkohlenflözen oder Mattbraunkohlenflözen, wie z. B. in Leoben, Fohnsdorf, Wies, Sittenberg, Häring, im Revier von Dorogh und Tokod, von Pernik, von Reichenburg, Tüffer, von Salgo Tarjan, Sajotal u. a. m. sucht man vergeblich nach den Brandlägen, nach jenen weit anhaltenden Schichtflächen, die ganz mit Fusitbruchstücken bedeckt sind. Alle die genannten Flöze sind ertrunkene Torfmoore, wie folgendes beweist: Bei Leoben liegt ein Brandschiefer mit Fischresten auf der Kohle. Spongiennadeln finden sich in den obersten 5 cm der Kohle, hie und da 13 cm tiefer ein zweiter dünner Streifen. Eine Congerienbank bedeckt das Flöz von Fohnsdorf, Süßwasserkalke bzw. Mergel bilden das Hangende von Häring, fossilreiche brackische oder marine Schichten liegen in Dorogh, Tokod, im Sajotal, in Sittenberg usw. direkt auf der Kohle. Dicke Austernschalen sind im Sajotal bis in die Kohle hineingesunken.

Alle diese Flöze zeigen die Kohle in dickeren und kompakten Lagen, die nicht so leicht längs der Schichtflächen aufspalten. Die Brandlägen sind ein Oberflächenmerkmal des Torfes, sei es durch Trockenheit, wie Grand Eury (1882) (48), David White

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

(1913) (49) und Th. Lange (1929) (50) vermuten, sei es durch Waldbrand hervorgerufen, wofür R. Potonié (45) und Bode (1930) (52) sich mit guten Gründen einsetzen. Gaserfüllte Hohlräume (Lieske 1930) (53) scheiden wegen der weiten Ausdehnung und der dichten Lage übereinander aus. Es gibt Kohlenflöze (in Sierza, Karwin, Pilsen, Kladno), wo man alle 1—2 cm eine Fusithaut oder eine richtig ausgebildete Brandläge antrifft. Noch auffälliger sind die Brandlägen in den Rußkohlenflözen des Zwickauer Reviers. Sollen diese zahlreichen dünnen Gasblasen ihre Lage unverändert behalten haben, wenn der Druck von oben sich änderte? Wenn der Xylit liegender Baumstämme ringsum von einer Fusithaut umgeben ist (Hausruck), umgab dann die Gasblase ebenso den Stamm ringsum? In den gehobenen Schollen des erzgebirgischen Beckens steigt, in dem gesunkenen fällt die Menge der fusitischen Rußkohle (Reibisch 1934) (51), was als Hinweis auf den Grundwasserstand zu werten ist.

Ob sich, wie Mackenzie Taylor (1927) (54) meint, Beziehungen zwischen dem p_H der Deckschichte des Torfes bzw. des Torfwassers selbst, vermöge Basenaustausches und der Entstehung von Fusit nachweisen lassen, müßte auf breitester Basis geprüft werden. Tatsache ist, daß Kohlen mit kaolinisierten Einlagerungen sehr reich an Fusit sind. Darauf wird unten bei Erörterung des p_H der Flözbildung noch eingegangen.

Patteisky (55) beschrieb einen hohlen Sigillarienstamm, in dessen Innerem Fusit lag. Aus Süd-Dakota erwähnt David White liegende Metaxylitstämme, von denen einer außen, ein anderer innen Fusit enthielt. Grand Eury erwähnt einen Stamm, dessen Holz zu Fusit und dessen Rinde zu Kohle wurde.

Seit Göppert (1848) (56) weiß man, daß auch krautige Pflanzenteile in Gestalt von Fusit vorliegen können. Immerhin ist Holz die Regel, und zwar fast immer Koniferenholz, wenn auch Grand Eury Calamodendron und Hoehne (57) Cycadophyten und Farnholz als Fusit erkannt haben. Evans, Slater und Wheeler (1929) (58) heben besonders hervor, daß sie nie Korkgewebe im Fusit bemerkt haben. Später haben jedoch Gothan und Benade (1932) (59) Rindengewebe in den wirren Faserligniten norddeutscher Braunkohlenflöze wahrscheinlich gemacht. Die anerkannte Häufigkeit des Koniferenfusits wird von Bode zugunsten der Waldbrandtheorie ausgewertet. Wenn Dycotylenhölzer, wie allgemein und mit Recht angenommen wird, sehr rasch biologisch zerstört werden, ist die Herausbildung von Fusit durch eine besondere Art der Zersetzung aus ihnen ebenfalls weniger wahrscheinlich. Andererseits aber könnte man sagen, daß Dicotylen-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Erläuterung zur Abb. 8.

Vergleich der flüchtigen Bestandteile von Fusit und der zugehörigen Flözkohle.

1	South Wales, Glyn Neath, Pontyberem	Grounds
2	England, Brynhellys . . .	
3	South Wales, Glyn Neath, Gurnos .	
4	Brynhellys	
5	„ „ Aberpergwon .	„
6	Westfalen . . .	Steinbrecher
7	Ruhr, Katharina-Fl.	Hinrichsen und Taczak
8	Karwin, Fl. 26	W. Petrascheck
9	Reschitza	„
10	Nottinghamshire, Top Hard	Beet
11	Boljevac .	W. Petrascheck
12	Nürschan	Vondracek
13	Zwug, Jubiläum-Schacht	W. Petrascheck
14	Mähr.-Ostrau, 5. Liegend	Patteisky und Perjatel
15	Siersza .	W. Petrascheck
16	Oberschlesien	Steinbrecher
17	Yorkshire, Edlington, Barnsly seam .	Departm. sc. a. ind. res.
18	Yorkshire	Beet
19	Staffordshire, Top slip	
20	Lancashire, Ell. coal	„
21	W. Va., Kanawah, Cty. Chilton bed	Thiessen
22	Fife, Dappart main seam .	Beet
23	„ Dysart main seam .	
24	Staffordshire, Walsall, Deep seam	
25	Scotland, Ell seam	
26	Staffordshire, Walsall, Robins seam	„
27	Handlova	W. Petrascheck
28	W. Va., Kanawah, Cty. No. 2 Gas bed	Thiessen
29	Jackson 23 . . .	Parr, Hopkins, Mitchell
30	Nottinghamshire, Deep seam	Beet
31	Derbyshire, Roof coal	„
32	Fife, Dysart main seam	Tideswell und Wheeler
33	Jackson 25	Parr, Hopkins, Mitchell
34	Vermillion 9 .	„ „
35	Zwickau	Steinbrecher
36	Nottinghamshire, Barnsley seam	Tideswell und Wheeler
37	Brüx . . .	Steinbrecher
38	Jackson 31 . .	Parr, Hopkins, Wheeler
39	Falkenau, Josefi-Fl.	W. Petrascheck
40	Dubnian	Vondracek
41	Staffordshire, Walsall, Robins 5	Tideswell und Wheeler
42	Nottinghamshire, Deep softs	„ „ „
43	Vermillion 7	Parr, Hopkins, Wheeler
44	Zillingsdorf	W. Petrascheck
45	Falkenau, Antoni-Fl.	
46	Ampflwang	„ „
47	Falkenau	Steinbrecher
48	„	
49	Hessen, Schwelkohle	

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

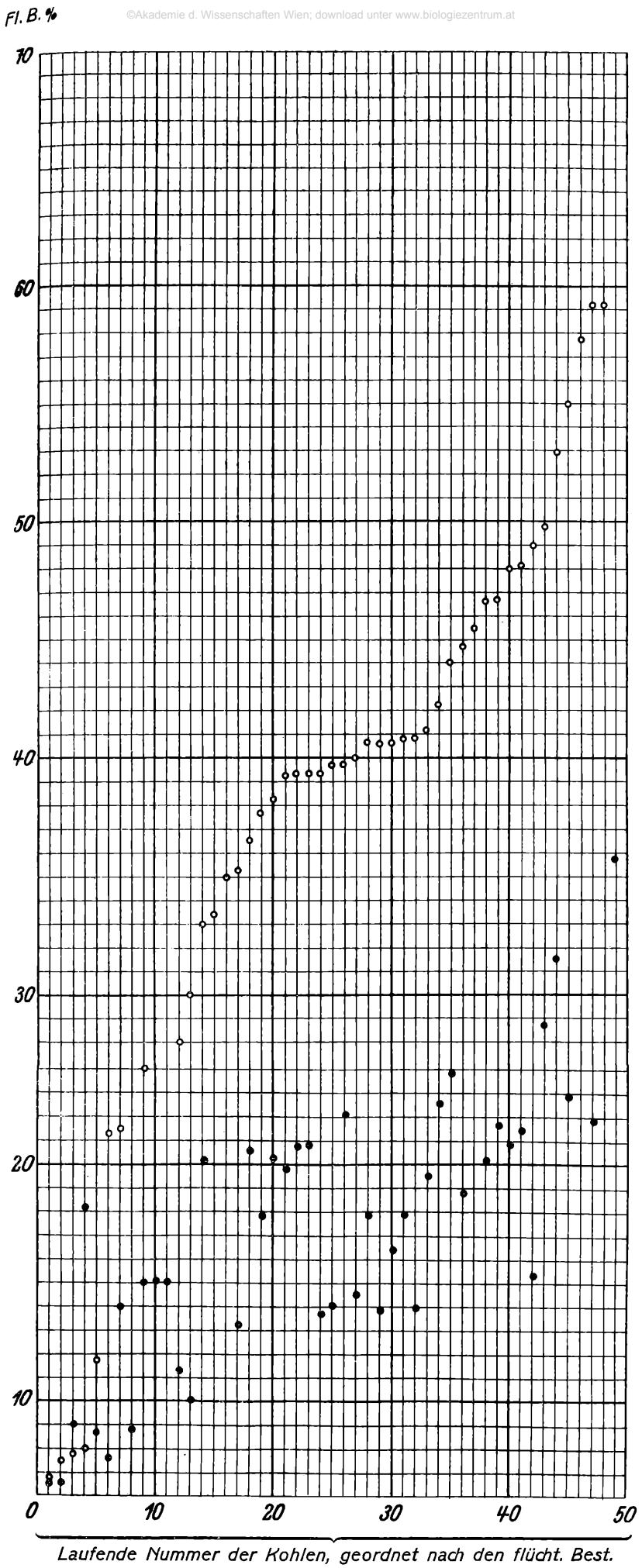

Abb. 8. Beziehung zwischen der Menge der flüchtigen Bestandteile der Flözkohle und jener des eingeschlossenen Fusits. Die Reihung geht von Magerkohlen zu Erdbraunkohlen. Ringe: Flözkohle, Punkte: zugehöriger Fusit.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

holz gerade durch Waldbrand als Fusit konserviert werden könnte. Es ist richtig, daß im Gestein eingeschlossenes Holz, wofern es nicht petrifiziert ist, in der Regel als „Metaxylit" vorliegt. Immerhin beobachtete auch ich Fusit als dicken Brocken im Brandschiefer über dem Ölberger Kalk im Rotliegenden des Braunauer Landes, als Brocken im Schieferton des oberschlesischen Karbon und sind analoge Wahrnehmungen, die auf Einschwemmung von Holzkohle hinweisen, wiederholt bekanntgemacht worden.

Daß auch der Fusit eine Art Inkohlungsreihe je nach der Reife der ihn beherbergenden Kohle aufweise (W. Petrascheck 1929) (46) ist von Steinbrecher (1933) (60) bezweifelt worden. Seine Basis ist dabei doch eine etwas schmale, weshalb ich hier soviel Fusit mit zugehörigen Kohlenanalysen zusammenstelle, als ich einst erreichen konnte.

Abb. 8 zeigt die Zusammensetzung der Fusite in Vergleich zu jener der zugehörigen Flözkohle, alles immer in Umrechnung auf Reinkohle. Es ist ganz deutlich erkennbar, daß mit abnehmender Kohlenreife auch die Menge der flüchtigen Bestandteile des Fusits zunimmt. Allerdings ist das eine Regel, etwa so wie die Hiltsche Regel, und kein Gesetz. Noch deutlicher sollte man die Regel erwarten, wenn, wie das in Abb. 9 der Fall ist, Vitrit und Fusit des gleichen Flözes einander gegenübergestellt werden. Auch hierbei ist die Regel noch erkennbar, da jedoch aus dem Braunkohlenbereich weniger Vitrit-(Xylit-)Analysen zum Vergleich vorlagen, ist diese Darstellung weniger eindringlich. Beide Abbildungen aber lassen starke Streuung der Fusitpunkte erkennen. Die Vitritanalysen sind sicher zur Mehrzahl auf Durchschnittsproben zurückzuführen. Ob das bei dem viel sparsamer auftretenden Fusit in gleichem Maße der Fall ist, sei dahingestellt. Bei meinen eigenen ersten Analysenmustern (1926) war das nicht immer der Fall. Schon Kattwinkel (1934) (61) erkannte, daß das, was Patteisky und Perjatel (1925) Hartfusit nennen, mineralisierter Fusit ist. Meiner Erfahrung nach ist diese Mineralisierung meist durch Karbonate oder Pyrit erfolgt, welche beide bei der Kohlenanalyse Stoffe abgeben, die unter den „flüchtigen Bestandteilen" der Kohle aufscheinen, ohne dazuzugehören. Aus diesem Grunde wurden Fusite mit Aschengehalten von mehr als 15 % in obige Zusammenstellungen nicht einbezogen. In den wenigen Fällen, in denen dies doch geschah, wie bei oberschlesischen Sattelflözen, fallen gerade diese Kohlen aus der Regel und zeigen sogar mehr flüchtige Bestandteile als die Flözkohle. Wenn man berücksichtigt, wie aschenarm das Holz von Natur aus ist, so liegt in der Asche der Fusite eine Fehlerquelle, die auch bei Umrechnung auf Reinkohle jede Statistik verdunkelt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Erläuterung zur Abb. 9.

Vergleich der flüchtigen Bestandteile von Fusit und Vitrit eines Flözes.

1	Ruhr, Z. Deimelsberg, Fl. Sarnsbank	Rittmeister
2	Ostrau, Ida-Schacht, Paulina-Fl. .	Patteisky und Perjatel
3	„ Schacht Anselm, Paulina-Fl. .	„ „
4	Ruhr, Z. Mansfeld, Fl. Sonnenschein	Rittmeister
5	Winterslag	de Bosseré
6	Ostrau, Ida-Schacht, Fl. Petronilla	Patteisky und Perjatel
7	Ruhr, Fl. Bismarck	Potonié und Bosenik
8	„ Z. Neumühl, Matthias-Fl.	Rittmeister
9	Eysden, Limburg	de Bosseré
10	Saar	Hoffmann
11	„ . . .	„
12	Waterschei III	de Bosseré
13	Saar	Hoffmann
14	„	„
15	Ruhr, Fl. Bismarck	Potonié und Bosenik
16	„ Z. Wilhelmine, Fl. Zollverein	Rittmeister
17	Saar	Hoffmann
18	Ruhr, Fl. Bismarck	Potonié und Bosenik
19	„	„ „
20	Saar	Hoffmann
21	Ruhr, Z. Wilhelmine Viktoria, Fl. 14 .	Rittmeister
22	Saar	Hoffmann
23		
24	„	„
25	Ruhr, Fl. Bismarck .	Potonié und Bosenik
26	Derbyshire	Hendriksen
27	Zwickau	Förster und Hühnerbein
28	Nottinghamshire, Kirkby, Top Hard .	Baranov und Francis
29	O.-S., Ruda, Reden-Fl.	Lange
30	Arley seam	Sinnat
31	W. Va., Chilton, Kanawah Cty.	W. Va. Geol. Surv.
32	O.-S., Ruda, Fl. Pochhammer	Lange
33	Ruhr, Fl. R.	Potonié und Bosenik
34	O.-S., Ruda, Fl. Heinitz .	Lange
35	„ Fl. Gerhard	
36	„ „ Fl. Pelagie I	„
37	S. Yorkshire, Barnsly seam . .	Departm. sc. a. ind. res.
38	Wigan Yard seam, Staffordshire	Sinnat
39	Saar	Hoffmann
40	Ostrau, Michaeli-Schacht, Fl. 5	Patteisky und Perjatel
41	Saar	Hoffmann
42	„	„
43	O.-S., Ruda, Einsiedel-Fl. .	Lange
44	W. Va., Kanawah Cty., No. 2	W. Va. Geol. Surv.
45	Illinois, Harrisburg 5 .	Mc. Cabe
46	O.-S., Ruda, Pelagie III .	Lange
47	„ „ Fl. Veronika	„
48	Illinois, Franklin mine .	Mc. Cabe, Mitchell und Cadi
49	O.-S., Ruda, Fl. Einsiedel	Lange
50	„ „ Fl. Jakob	„
51	Staffordshire, Hamstead, Coll. Thick seam	Baranov und Francis
52	Illinois, Jackson mine	Mc. Cabe, Mitchell und Cadi
53	O.-S., Siersza, Fl. Artur	Petrascheck
54	Illinois, Nashville	Mc. Cabe
55	„ Washington, Mine Herrin 6	Mc. Cabe, Mitchell und Cadi
56	Ampflwang	Petrascheck

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

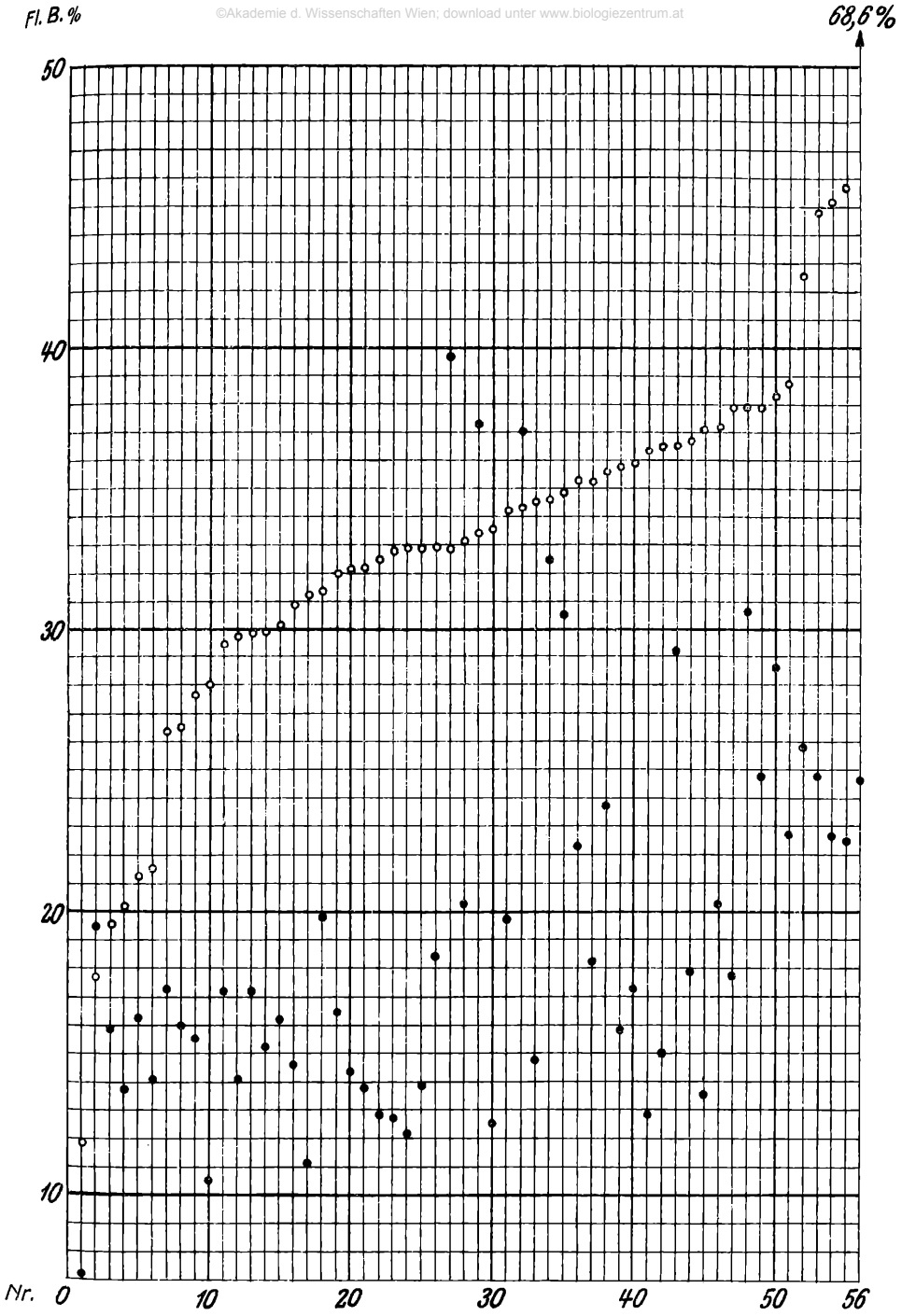

Abb. 9. Beziehung zwischen Menge der flüchtigen Bestandteile zusammengehöriger Vitrite (Xylite) und Fusite. Die Reihung folgt den Vitriten (Xyliten). Lokalitäten vgl. Tabelle. Ringe: Vitrit, Punkte: zugehöriger Fusit.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ist der Fusit durch Waldbrände entstanden, so darf man verschieden stark verkohltes Holz nebeneinander erwarten, nicht aber eine solche Regel, wenngleich man zugeben kann, daß unvollständig verkohltes Holz eine weitere Inkohlung mitmachen könne. In der Tat sind die Fusite eines Kohlenflözes nicht alle gleich.

Das Vorkommen von Harzeinschlüssen im Fusit wurde wiederholt (Jurasky 1929 [62], Mateescu 1933 [63], K. Lehmann 1930 [64] Hoehne 1933 [57]) erwähnt. Aus eigener Erfahrung kann ich das Arturflöz von Siersza hinzufügen, wo man dicke Harzkörner im Fusit steckend finden kann, neben sehr kleinen Einschlüssen in den Tracheiden. Wichtig ist, daß verschiedene Fusite beim Extrahieren im Soxhlet-Apparat Bitumen geben. Auch Steinbrecher führt etliche Bestimmungen an. Ich fasse die Ergebnisse zusammen:

Hessische Schwelkohle	(St.)	4,6 %
Hausruck Spanfusit	(W. P.)	1,5 %
Brüxer Braunkohle . .	(St.)	2,6 %
Falkenauer Braunkohle .	(St.)	0,7 %
Falkenauer Braunkohle .		1,1 %
Sierszaer Steinkohle	(W. P.)	1,9 %
Zwickauer Steinkohle .	(St.)	0,9 %
Oberschlesische Steinkohle	(St.)	0,8 %
Westfälische Steinkohle	(St.)	0,7 %

Wenn ich dazu erwähne, daß nach eigenen Versuchen Meilerkohle aus Lärchenholz 0,24 bzw. 0,33 % Bitumen enthält, so ist der Unterschied mäßig.

Wo man Fusit in größerer Menge antrifft, zeigen sich graduelle Unterschiede, auch wenn man den Hartfusit wegen seiner Mineralinfiltration ausscheidet. Der Bogenfusit, den man von den Schichtflächen der Kohle wegblasen kann, ist tektonisch deformiert. In der Hausruckkohle unterschied ich einen mürben und einen Spanfusit. Sie zeigen in der Analyse sehr wenig Unterschied. Mindestens der letztere wäre nach der üblich gewordenen Charakterisierung als Braunkohle zu klassifizieren. Übergänge in Xylit und in Vitrit, „Fusovitrit", sind unter dem Mikroskop ungemein oft bemerkbar und oft genug beschrieben worden. Gerade die Waldbrandtheorie fordert diese. Sie läßt außen oder innen angekohlte Stämme leicht verstehen.

Ich hatte seinerzeit, auf Donaths Studien fußend, eine Reihe von qualitativen Unterschieden einer Anzahl von Fusiten verschiedener Herkunft und Alters festgestellt, welche Unterschiede meines Erinnerns nie weiter in Erörterung gezogen wurden.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Diese Unterschiede verlieren an Bedeutung, wenn man berücksichtigt, daß Waldbrände mehr oder weniger vollkommene Holzkohle liefern, also Hoch- oder Tieftemperaturschwelung. Dann kann nicht nur der Bitumengehalt größer sein, dann können auch Reste von Lignin oder Oxydationsprodukte desselben zurückbleiben, welche die Huminsäurereaktion und andere Reaktionen des Fusits zu geben vermögen.

Unsere Abb. 9 zeigt, verglichen mit Vitrit bzw. Xylit, wie schon erwähnt, starke Streuung in den flüchtigen Bestandteilen bzw. dem Kohlenstoffgehalt der Fusite.

Die Inkohlungsreihe der Fusite aber besteht. Das Ausgangsmaterial der Inkohlung war schon mehr oder weniger stark verkohlt, was naturgemäß auf das Endprodukt von Einfluß ist.

Auch Meilerkohle ist nicht chemisch reiner Kohlenstoff, wie Elementaranalysen zeigen. Möglicherweise ist sie mit unter dem Mikroskop unsichtbaren Mengen von abgeschweltem Bitumen inkrustiert. Der Fusit kann mit ebenso unsichtbaren Mengen von Humussäure inkrustiert sein. Ging die Kohlennatur im Gegensatz zur reinen Holzkohlennatur des Fusits schon aus den einst von mir mitgeteilten, chemischen Reaktionen hervor, so zeigt das auch eine Röhrchenentgasung von sorgfältig mit der Hand isoliertem und im Soxhlet-Apparat völlig entbituminiertem Sierszaer Fusit, welche deutliche Mengen von Teer und Gas ergab.

Meine Worte, daß der von mir untersuchte Steinkohlenfusit nicht die vortreffliche Erhaltung der Holzzellen zeige wie Fusite tertiärer Lignitflöze, wurden von Bode 1928 umgeprägt in völlig Homogenwerden. Mangelhafte Präparation und Apparatur war die Ursache meiner seinerzeitigen Bemerkung. Die araucaroide Tüpfelung karbonischer Steinkohlenfusite ist tatsächlich nicht weniger deutlich als jene anderer Fusite und auch der Meilerholzkohle. Ich glaube aber nicht, daß dies das Vorhandensein ganz dünner Inkrustationen ausschließt.

Die obenerwähnten Autoklavenversuche mit trockenem und grünem Holz sind belanglos für die Frage der Fusitentstehung, denn es ist nicht denkbar, daß trockenes oder grünes Holz auf die Dauer der Torfbildung unverändert im Torf bis zum Beginn der geochemischen Inkohlungsprozesse liegen bleibt. Aus dem gleichen Grunde vermag ich auch nicht den Gedankengängen David Whites (49) zu folgen, wenn er ausspricht, daß an der Oberfläche des Torfes trocken gewordenes und durch Huminsäurelösungen sterilisiertes Holz die Ursubstanz des Fusites abgegeben habe. So wie Holz mit Überschuß an Lignin im Autoklaven Glanz-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

kohle liefert, so dürfte es auch bei Überschuß an Humussäure der Fall sein, wie eigene Versuche zeigen.

Von Wichtigkeit scheint mir eine Wahrnehmung Berls (1940) (65) zu sein, derzufolge Torfdolomite reichlich Fusit enthalten können, der beim Auflösen der Knollen, allerdings als Masse ohne Zellbau, zurückbleibt. Da diese Konkretionen gleich nach der Vertorfung noch vor der Inkohlung entstanden, beweist dies die Entstehung jenes Fusits während des Vertorfungsprozesses.

Man könnte fragen, wie es komme, daß man Baumstämme, die im Sedimentgestein eingebettet wurden, gewöhnlich zu Glanzkohle (Vitrit) umgewandelt wurden, nicht zu Fusit, wie es die Autoklavenversuche erwarten ließen. Was man an Fusit im Gestein antrifft, wie oben erwähnt, sind in der Regel eingeschwemmte Holzkohlenbruchstücke. Jener Baumstamm, den ich von Herrn Prof. Ing. Peter vor Jahren erhielt, gibt gewisse Auskunft. Er wurde im Liegendletten eines Kärntner Torflagers gefunden und war anscheinend faules Holz. Im feuchten Zustande ganz weich und schwammig, etwas dunkler in der Farbe als frisches Holz, wurde es beim Austrocknen dicht und zeigte muscheligen Bruch, mit leichtem Glanz auf den Bruchflächen. Zellulose fehlte dem Holz bereits vollständig. Im Autoklaven auf 250° 2 Stunden lang mit 1 kg pro cm^2 Belastung erhitzt, ergab sein Holz einen niedrigen, stark erweicht gewesenen Kuchen von stark glänzendem Vitrit. Der vorher unter dem Binokular deutlich sichtbare Holzzellenbau war dann nicht mehr erkennbar. Wieder sieht man, daß faules Holz bei der Inkohlung Vitrit liefert. Frisches Holz petrifiziert bei Anwesenheit gelöster Mineralstoffe.

Die Art des Vorkommens von Fusit in Kohlenflözen spricht, wie namentlich R. Potonié überzeugend dargetan hat, eher für Wald- und Moorbrände. Die stofflichen Unterschiede zwischen Fusit und guter Holzkohle, soweit sie nicht ursprünglich auf mehr oder weniger unvollkommene Verkohlung zurückzuführen sind, sind eine Folge der Inkohlung, also jener niedersten Grade der Metamorphose, die durch Druck oder Temperatur oder beides in der Erde vor sich gehen und die eine unvollständig verschwelte Holzkohle ebenso erfassen wie die Reste von Bitumen und Huminen, welche die Holzkohle noch enthielt oder imprägnierten. Also Waldbrand mit mehr oder weniger verkohltem Holz zusammen mit Metamorphose dieser Holzkohle erklärt die stark, aber nicht gesetzlos wechselnde Zusammensetzung des Fusits. Immerhin gibt es Hinweise dafür, daß nicht alle Fusitlagen nur durch Waldbrand erklärbar sind. (Siehe p_H der Flözbildung.)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Durit.

Daß der Durit verschiedener Abkunft ist, wurde durch die in Heerlen auf Vorschlag von Jongmans beschlossenen Benennungen endgültig festgelegt. Im Durit („Moorkohle" der Weichbraunkohlen) jüngerer Flöze fehlt es nicht an humosen Stoffen, die aus Laubhölzern hervorgegangen sind, wie einzelne Überreste zeigen (Elise Hofmann 1944) (66). Es ist begreiflich, daß unter solchen Umständen Durite in der chemischen Zusammensetzung ungleicher sind als Vitrite.

Die Technik hat vor allem die im Laufe der Kohlenmetamorphose sich einstellende Backfähigkeit der Kohlen erforscht. Es ist schon lange bekannt, daß der Vitrit der eigentliche Träger der Backfähigkeit ist. Immerhin ist festzustellen, daß diese auch dem Durit nicht abgeht, nur ist eine Art Phasenverschiebung bei der Backfähigkeit in der Richtung gegen die Magerkohle zu verzeichnen. Ich sammelte im Bereich der Magerkohlen der untersten Ostrauer Schichten eine Cannelkohle, welche in hohem Grade Backfähigkeit aufwies. Sie hatte folgende Zusammensetzung:

Backende Cannelkohle von Marienberg:

	Rohkohle	Reinkohle
Wasser	0,71%	—
Asche	10,20%	—
Fixer Kohlenstoff, Reinkoks	73,63%	82,64%
Flüchtige Bestandteile	15,46%	17,36%

Andererseits gibt es in Flammkohlen Ostoberschlesiens, die sich schon in mancher Hinsicht den Braunkohlen nähern, bereits backende Vitrite.

In der Regel, aber doch nicht immer, weist der Durit auch in der Umrechnung auf Reinkohle mehr flüchtige Bestandteile auf als der Vitrit. Wegen der wechselnden petrographischen Zusammensetzung des Durits ist der Vitrit besser geeignet, als Gradmesser für die Metamorphose der Kohlen zu dienen, als der Durit. Es wurde (Gropp und Bode 1932) (4) behauptet, daß sich das Brennstoffverhältnis in den Streifenarten mit zunehmender Metamorphose umkehre. Da dürfte unzulängliche Probenahme ein Fehlurteil veranlaßt haben. Die Trennung Vitrit—Durit wurde in der Regel mit der Hand vorgenommen. Ist schon bei Fettkohlen die Unterscheidbarkeit mit bloßem Auge nicht leicht, so hört sie bei Magerkohlen ganz auf, ja sie kann sogar mit dem Mikroskop Schwierigkeiten bereiten. Durch eine sorgfältige Untersuchung an

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ruhrkohlen erkannten K. Lehmann und E. Hoffmann (1932) (16), daß Vitrit und Durit sich in der Menge der flüchtigen Bestandteile nähern und von den Fettkohlen an bis zu den tiefsten Magerkohlen praktisch gleichen. Hoffmann und Jenker (1932) (67) zeigten zahlenmäßig, daß die Inkohlung auch am Reflexionsvermögen und den Anisotropieeffekten erkennbar ist. Auch dabei verschwinden die Unterschiede mit dem Grade der Reife und es ist bekanntlich nicht leicht, im Graphit den Vitrit und Durit selbst unter Öl im polarisierten Licht zu unterscheiden. Das alles hatte mich (1929) veranlaßt, von der Homogenisierung der Kohle zu sprechen, die bei der Metamorphose allmählich eintritt. Daß Lehmann und Hoffmann zur gleichen Auffassung geführt wurden, geht aus ihren Worten „die normale Mattkohle verschwindet während der Inkohlung praktisch vollständig" hervor.

Der Hauptbestandteil der Moorkohle sind Humussäuren, die im Durit der Hartbraunkohlen zu Anhydriden (Huminen) und schließlich zu Humuskohlen werden. Diese bilden die Opaksubstanz, welche mit steigender Metamorphose zunimmt. Die Chemie dieser mit der Metamorphose sich ändernden Humusstoffe wurde durch H. Stach (68) und W. Fuchs (69) studiert. Ihr optisches Verhalten wurde durch E. Hoffmann und seine Mitarbeiter geklärt.

Hinsichtlich der Backfähigkeit von Flammkohlenvitriten stimmen meine Wahrnehmungen mit jenen von Hoffmann und Lehmann überein, während diese Autoren in der Richtung auf die Magerkohlen ein längeres Anhalten der Backfähigkeit finden und auf gleichartige Feststellungen durch Hock und Kühlwein (1931) (70) bei niederländischen Kohlen verweisen, scheinen mir Untersuchungen auf breiterer Basis angezeigt.

Mit Duparque (1926) (71) fasse ich den Durit als Sediment wenig bewegten Wassers auf. Das deutet seine meist tonige Asche an und die im Durit weniger Kohlen bemerkbaren Einschwemmungen gröberer oder gar grober Sandkörner. Die gute Schichtung, die auch unter dem Mikroskop an der parallelen Lage der figurierten Bestandteile zum Ausdruck kommt, ist bei Torfablagerungen, die über dem Grundwasserspiegel entstanden sind, nicht zu erwarten. Zu der Zeit, als für die deutschen Braunkohlen die Trockentorftheorie die Runde machte, betonte ich bereits, daß viele Braunkohlenflöze Merkmale der Anwesenheit des Wassers zeigen (72). Ich brauche diese Merkmale im einzelnen nicht zu wiederholen und verweise nur darauf, daß die Planorben der Kohle von Göriach im Durit stecken, ebenso die Spongiennadeln der Kohle von Seegraben und von Mydlowar, an letzterem Orte auch

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Diatomeen. Die Nürschaner Cannelkohle ist ein weiterer Beleg. Im Gödinger Reviere liegen Lumachellen von Congeria in der Kohle. Hie und da keilen sie aus, und eine dicke, reine Moorkohlenbank bildet ihre Fortsetzung, in der sich weiterhin die Lumachelle wieder einschieben kann. Auch Gothan hat den Übergang von karbonischer Mattkohle in Schiefer mit Süßwassermuscheln bemerkt. Daß die Wetterauer Kohle zum Teil subaquatischer Entstehung ist, hat Kirchheimer (1934) (73) durch Samen von Wasserpflanzen und Schwammnadeln nachgewiesen. Ich verweise auf die Schilderung eines allochthonen Moores, die F. W. Freise (1936) aus dem tropischen Urwald, insbesondere Brasiliens, gegeben hat.

Eine Durchbewegung der parallelen Schichtung, wie sie vor allem an den Kutikulen erkennbar ist, kann auf Gleitung im Schlamme, kann aber auch auf tektonische Durchbewegung zurückzuführen sein. Viel seltener, als man es erwarten sollte, ist letztere auch in Flözen mit zweifelloser kinetischer Metamorphose erkennbar. Man ist zum Nachweis derselben mehr auf andere Merkmale als auf diese Bilder der Durchbewegung im Durit angewiesen. Abbildungen solcher tektonischer Verformung geben Stach, W. E. Petrascheck, Mateescu u. a.

B. Harze.

Unter dem, was mineralogisch als Harze der Kohlen bezeichnet wird, unterscheide ich nach Art des Auftretens zweierlei: 1. Harze, die von der Pflanze als Wundharz ausgeschieden werden oder als Harzpfropfen in Holz- und Rindengewebe auftreten, das sind Retinite oder Resinite, und 2. Exsudate der Kohle. Auch Steinbrecher (1935) (74) macht einen Unterschied zwischen dem Harz der Pflanzen und „Bitumenharz" der Kohle. Das letztere extrahiert er aus der Kohle. Ob dieses Extrakt mit den Exsudaten ident ist, müßte erst geprüft werden. Siegl (1940) (75), der der Harzuntersuchung neue Wege durch Anwendung der Fluoreszenz in der Mikroskopie wies, macht die gleichen Unterschiede wie Steinbrecher, wobei er auch schon die Exsudate zu den Bitumenharzen rechnet, die er als Abkömmlinge des Pyropissits betrachtet.

1. Retinite bilden die bekannten kleinen Einschlüsse in der Kohle, denen man oft ansieht, daß es Harz gleicher Ausbildungsart ist, wie es in derselben Kohle als Pfropfen in den Holztracheiden steckt. Oft sieht man in einer Kohle gelbe und braune Harze nebeneinander, die braunen sind dann die Pfropfen des

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Holzes. Auch karbonischen Kohlen fehlen Retinite nicht. Ich selbst beobachtete solche schon vor Jahrzehnten in der Kohle von Jaworzno, Brzeszcze und einer oberschlesischen Kohle unbekannter Herkunft. Im Holzgewebe steckend kenne ich karbonischen Retinit allerdings bisher nur aus Fusit mit araukaroider Tüpfelung. Daß Retinite als ehemaliges Wundharz der Bäume auch große Klumpen bilden können, ist nicht verwunderlich. Bekannt ist das namentlich aus der Fushun-Kohle. In Ajka sah ich einen kopfgroßen Klumpen.

Schichtförmiges Auftreten wird von der New Castle Mine in Washington (Benson 1925) (76) und von K. Lehmann 1930 (64) aus westfälischer Kohle erwähnt. Auch die eingangs behandelte Boekit-Assam-Kohle enthält reichlich Retinitkörner. Unter den Probestücken, die ich durch die Gefälligkeit des Herrn A. Guyot van der Ham erhalten hatte, zeigt eines das Harz auch als Spaltausfüllung in Mattkohle, was sonst die Art des Auftretens der Exsudate ist. Mutmaßlich ist es dasselbe Borneoharz, für das Müller-Neuglück (1933) (77) als Schmelzpunkt 120—160° angibt. Da es sich um eine kontaktmetamorphosierte Kohle handelt, ist Aufschmelzung von Retinitkörnern leicht möglich. Nach D. White (49) tritt Harz auch als Spaltenausfüllung in der Kohle von Lafayette und nach eigenen Wahrnehmungen in der Kohle von Grünbach auf, die gleichfalls kleine Retinitkörner enthält.

Die Harzkörner der Weichbraunkohlen sind isotrop, jene der Mattbraunkohle in mehreren Fällen ebenfalls, in anderen zeigen sie undulöse Auslöschung. In tektonisch veredelten Glanzbraunkohlen sah ich sie immer undulös auslöschend. Nur in der durch Eruptivkontakt veredelten Glanzbraunkohle von Handlowa sind isotrope und anisotrope Retinite in verschiedenen Schliffen bemerkbar. Alle Steinkohlenharze sind anisotrop, und E. Hoffmann und K. Lehmann (1932) erwähnen bereits, daß mit zunehmender Reife die Anisotropie stärker wird. Gleichzeitig dunkeln die Harze nach und werden für Lösungsmittel schwerer angreifbar. Die Retinite nehmen unzweifelhaft an der Metamorphose der Kohle teil, wenn sie auch, wie Siegl (90) darlegt, bis in das Steinkohlenstadium relativ stabil sind. Dabei möchte ich es dahingestellt sein lassen, ob die undulöse Auslöschung der Braunkohlenharze stets durch tektonische Einflüsse verursacht ist, oder auch durch Spannungsanomalien infolge Alterung und Verlustes des Lösungsmittels (Terpentin).

In manchen Braunkohlendünnschliffen sieht man Harz zu kleinen Linsen flachgedrückt. Man könnte versucht sein, daraus Schlüsse auf die Temperatur zu ziehen. Die Schmelzpunkte der

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Retinite liegen zwischen 120 und 280°, die Erweichungstemperaturen sind niedriger. Keine beider Temperaturen ist aber maßgebend, denn es ist unbekannt, welche Festigkeit das Harz zur Zeit seiner Einbettung hatte.

Nicht von der Elementarzusammensetzung, wohl aber von den Kennzahlen der Harzeinschlüsse und ihrer Löslichkeit darf man bei weiterer Forschung Zeichen der Metamorphose erwarten, wie folgende aus der Literatur, namentlich nach Ussar (111), zusammengestellte Tabelle zeigt.

2. Exsudate bilden Kluftausfüllungen, mitunter auch einen dünnen Belag auf Schichtfugen. Solche Exsudate sucht man am ehesten in kontaktmetamorphosierten Kohlen. Ich erwähnte sie (1929) (78) beim Studium solcher Kohle schon von der Emeranzeche bei Bilin, wo sie sich in der Nachbarschaft eines Phonolithdurchbruchs fand. Auch in der vor einigen Jahren noch erreichbaren Nähe des Phonolithganges auf Grube Kohinoor bei Dux konnte ich solchen Kluftbelag, der Schmelzerscheinungen zeigte, finden. Dieser Kluftbelag ist teilweise löslich in Chloroform, Benzol, Schwefelkohlenstoff, Benzin, nicht in Alkohol. Der Duxit ist nichts anderes. Ähnlich treten Hartit und Köflachit als Kluftbelag auf in Flözen, die keiner vulkanischen Durchwärmung ausgesetzt waren. Daß keineswegs nur thermisch veredelte Kohlen solche Exsudate liefern, ist namentlich in Piberstein bei Köflach klar. Die Kohle lag nie tiefer als höchstens 300 m. Kaltes Grundwasser muß immer unweit seiner Sohle im Grundgebirge zirkuliert haben. Aus dieser Kohle sickert ein braunes, flüssiges Öl seit Jahrzehnten aus. Donath (79) hat schon drüber berichtet, ebenso Dolch (80). Ich sah auf einer 30 oder 50 m² großen Fläche die Kohle das Öl gewissermaßen ausschwitzend. Eine Probe, die ich vor wenigen Jahren bekam, wurde entgegenkommenderweise von Herrn Prof. Dr. Hentze, Charlottenburg, untersucht, ohne daß ein eindeutiger Hinweis für seine Entstehung erzielbar gewesen wäre. Immer tritt das Öl nur örtlich in der Kohle auf. Jahrelang, so auch zur Zeit der Niederschrift, ist nichts davon zu sehen. Da Aufschreibungen über die Fundpunkte in der Grube nicht vorliegen, kann nicht gesagt werden, ob diese irgendwelchen Regeln unterliegen. Aus demselben Kohlenbergbau beschreibt Dolch auch Spaltenausfüllungen von Paraffin. Kristallisiertes Paraffin bildete fingerlange Rosetten auf Klüften der Kohle von Lobnitz bei Eisenkappel. Auch für dieses kleine, hoch am Berge liegende, zwischen Triaskalken eingeklemmte Kohlenvorkommen besteht kein Anhalt dafür, daß die Abschwelung des Paraffins bei erhöhter Temperatur erfolgt sei. Den Hartit von Hart bei Gloggnitz und den Piauzit von

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Retinite aus		C	H	O	N	S	F. P.	Jod-	Säure-	Ester-	Ver-seif.-	Löslichkeit
		Prozent						zahl				
Weich-braunkohle	Zweifelsreuth bei Eger	76,80	9,06	14,05								Äther
	Bitterfeld	80,50	11,50				ca. 200°					
	Arnotal	74,56	10,07	14,71			75°					Äther und CS.
	Ilz, Steierm.	76,14	8,53	13,98		1.45	117–9°		49		161	Benzol löslich 32%
	Weiz, „	73,19	7,55	18,25		1,01	131–2°		37		156	Benzol löslich 30%
„	Voitsberg, Stm.	76,10	7,58	14,88		1,44	158–9°		46		188	Benzol löslich 62%
Matt-braunkohle	Sonnberg	84,42	11,01	4,57			160°					Benzol
	Sittenberg	75,23	8,23	15,98		0,56	116–9°		37,5		187	Beozol löslich 4,7%
	Lavanttal	77,21	7,50	14,17		1,12	129 bis 31°		24,5		152	Benzol löslich 30%
	Mähr.-Trübau	80,24	10,66	8,92		0,18	250°	16	0		42,5	Äther, Alkohol. wenig CS_2 löslich
	Ajka	81,59	10,20	6,34		1,87	180 bis 205°		0	160		Alkohol, Äther. CS_2 sehr wenig
Glanz-braunkohle	New Castle, Washington	79,60	10,36	8,94			395 bis 400°	281 bis 312	5,3		8,3	
Flammkohle	Baldurgrube, Westfalen								8,5		84,6	Alkohol wenig, Benzol löslich Azeton zu 20%
	Brandeisl	75,27	6,19	18,54								Äther zum Teil
	Carpano	81,10	11,2	3		4,70	168 bis 180°					
	Canon City, Colorado	73,07	7,95									Äther

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Johannestal in Krain kenne ich nicht so deutliche Spaltenausfüllungen bildend wie die gerade angeführten Vorkommen, wenngleich die Art ihres Auftretens ebenfalls für Exsudate spricht. Hieher gehört auch der Duxit auf den Klüften der Kohle des Ellyschachtes in Seestadtl und eine Spaltenausfüllung im Liegendton des Josefiflözes von Falkenau, die mir vor etlichen Jahren gezeigt wurde. Auf beide Fälle gehe ich unten gelegentlich der Besprechung der deutsch-böhmischen Braunkohlen nochmals ein. Hier genügt es festzustellen, daß Exsudate aus Kohlen auch bei Temperaturen zustande kommen, die weit unter der Schweltemperatur liegen. Liegt doch für die Köflacher Kohle kein Grund zu einer Entstehungstemperatur von mehr als 20° vor, und auch bei Eisenkappel wird es nicht viel mehr gewesen sein. Ein leicht verdunstendes Lösungsmittel dürfte die Paraffinkristalle gebracht und zurückgelassen haben. Sie müssen sehr junger, posttektonischer Entstehung sein, sonst wären sie verschmiert worden.

Polymerbitumen.

Pollen, Sporen, Kutikulareste gelten als Bitumenträger. Zerstörung der Humussubstanzen, indem man sie durch Oxydation in lösliche Humussäure zurückführt (Mazeration), wird angewendet, um diese Polymerbitumina aus der Kohle zu isolieren. Die Wichtigkeit der Sporen für bestimmte technische Eigenschaften der Steinkohle ist bekannt und mehrfach untersucht. Die Auswertung der Pollen für die Stratigraphie der jungen Kohlen ist durch R. Potonié und seine Mitarbeiter in planmäßiger Weise in Gang gebracht worden, nachdem die Pollenspektra der diluvialen Torflager hiefür richtunggebend waren. Zerndt hat durch Bearbeitung der karbonischen Makrosporen überraschend gute Erfolge erzielt, wobei er allerdings sich auf Steinkohlen stützen konnte, die in mancher Hinsicht Übergangsstadien zur Braunkohle sind und deshalb diese Sporen in vortrefflichem Erhaltungszustand liefern.

Durch Zetzsche (1932) (81) und seine Mitarbeiter wurden die chemischen Eigenschaften des Pollens der Kohle mit jenen der Gegenwart verglichen. Es stellte sich im Vergleich zu anderen Kohlenbestandteilen eine nur geringfügige Änderung gegenüber dem rezenten Pollenmaterial heraus. Das deckt sich mit Wahrnehmungen, die R. Potonié (82) schon 1915 bekanntgab. Diese relative Stabilität liefert eine Methode, um die Höchsttemperatur zu schätzen, der die Kohle bei ihrer Entstehung ausgesetzt war. Zetzsche kam zu Zahlen, die weit unter jenen lagen, die von

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

manchen Chemikern auf Grund der thermischen Zersetzung fertiger Kohlen angenommen wurden. Sein Befund unter 200°, ja nicht einmal viel über 100°, harmoniert gut mit dem, was aus der einstigen Tiefenlage der Kohlenflöze errechenbar ist (W. P. 1930) (2). Auch aus der Schädigung des Pollens durch Temperaturerhöhung ist, wie Kirchheimer (1934) (28) dargelegt hatte, auf die Temperatur bei der Entstehung der Kohle ein Schluß möglich.

Sporen und Pollen nehmen an der Metamorphose teil, wie auch ihr optisches Verhalten zeigt. In den verschiedenen Braunkohlenstadien dunkeln sie nach, undulöse Auslöschung tritt ein. Die mit der Reife zunehmende (vgl. E. Hoffmann und Jenker 1932, Reichenbach und Stach 1931) Anisotropie macht sie auch in Gas- und Fettkohlen noch erkennbar. In den Magerkohlen hört das auf, wofern nicht Ölimmersion mit polarisiertem Licht angewendet werden. Beim Graphit schließlich versagt auch dies.

Was für Sporen und Pollen gesagt wurde, gilt auch für Kutikulareste. Nach Untersuchungen von Legy u. Wheeler (29) ist das Kutin aus der Papierkohle von Moskau (Bothodendronkohle) und von Mattkohle aus dem englischen Karbon im Vergleich zu rezentem Kutin wenig verändert.

Daß Braun- und Steinkohlen, die viel solcher Polymerbitumina enthalten, bei der Destillation viel Gas, eventuell auch Teer geben, ist schon lange bekannt, vgl. die Nürschaner Plattelkohle und die Cannelbraunkohle des Falkenauer Agnesflözes. Immerhin zeigten Versuche von Wheeler, daß Sporen und Kutikula bei der trockenen Destillation 40—60% Teer, der viel Schmieröl mit ungesättigten Kohlenwasserstoffen und neutralen sauerstoffhaltigen Verbindungen, jedoch nur wenig Gas liefert, was allerdings auch eine Funktion der angewendeten Temperatur ist. Es werden recht hohe Zersetzungstemperaturen (300—350°) für die figurierten pflanzlichen Bitumenträger in der Kohle angegeben.

Die Abnahme der flüchtigen Bestandteile mit der Reife der Steinkohle macht es sicher, daß auch Pollen und Sporen in der Kohle eine Metamorphose durchmachen, die auf ein Endprodukt hinläuft, das der Restkohle ebenfalls nahesteht.

Wachs ist gerade für Weichbraunkohlen kennzeichnend, in den Hartbraunkohlen schon tritt es an Menge zurück und den Steinkohlen fehlt es. Daß dies nicht auf die Flora zurückzuführen ist, wie man es gerade für die deutsche Braunkohle hervorhob (Gothan) (83), geht daraus hervor, daß im Bitumen der Moskauer Kohle, wie Stadnikoff (84) gezeigt hat, 12% als Wachs zu bezeichnen sind. Sichtbar wird das Wachs durch seine Luminiszenz im UV-Licht (Schochart 1943) (85). Im Gegensatz zu den

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

figurierten Bitumenkörpern ist demnach das Wachs vergänglich, obwohl es dem biologischen Inkohlungsprozeß widersteht und sogar durch Verwitterung des Torfes angereichert wird. Es ist der geochemische Prozeß, der das Wachs verändert.

Bitumenhölzer.

Der Bitumengehalt des Holzes schwankt in weiten Grenzen. Fuchs (1931) (69) nennt für Fichtenholz 0,5%, für Sequoiaholz 16%. Nach Iwasaki (1926) (42) gibt das Holz der japanischen Zeder 75% flüchtige brennbare Bestandteile. Die Verschiedenheit von Calamiten- und Cordaiten- etc. Kohlen beschränkt sich nach Ad. Carnot (1884) (86) auf den Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und die Beschaffenheit des Kokses, die Elementaranalyse ist nahezu gleich. Fuchs hält es für möglich, daß Huminsäuren vielleicht zum Teil auch zu bitumenähnlichen Stoffen gekrakt werden. Es ist also begreiflich, wenn Xylite sehr verschiedene Mengen von Bitumen ergeben. Gelbkohle gilt als bitumenreich. Das stimmt auch für Xylite, die durch ihre helle, gelbliche Farbe auffallen. In mitteldeutschen Schwelkohlenflözen kann man dicke, liegende Baumstämme von dieser lichten Farbe sehen, die mit in die Schwelkohle gehen. Oft bemerkt man beim Xylit der Weichbraunkohlen, daß er teilweise gelblich ist. „Juden" nannte der Bergmann im Zillingdorfer Tagbau diese Hölzer von lichter Farbe. Manchmal war das der äußere Teil der Stämme. In einem Teil des Zillingdorfer Bergbaugebietes war es gerade der innere. Vom Zillingdorfer gelben Xylit erwähnte ich schon seinerzeit, daß er u. M. mehr Harz als der braune erkennen läßt (87). Von einem Stamm im Zangtaler Tagbau des Köflacher Reviers ergab die Untersuchung:

	Brauner Xylit	Gelber Xylit
Wasser	8,67%	7,77%
Asche	1,18%	1,13%
Flüchtige Bestandteile . . .	57,84%	69,65%
Verkokungsrückstand, aschenfrei	30,17%	21,45%
Extraktion im Soxhletapparat:		
Alkohol/Benzol $^1/_1$	21,36%	47,51%
Hievon Wachs (Ätheralkohol 1:1) .	0,82%	1,53%

Der Schmelzpunkt des Bitumens war bei beiden unscharf und nahe 170°. Mit Chlorzinkjod war weder beim braunen noch beim gelben Xylit Blaufärbung erzielbar. Im Längsschnitt des braunen Xylits aber wiesen die Tracheiden Doppelbrechung auf, jene des

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Bitumenholzes nicht. Es zerfaserte beim Schneiden mehr und war auch u. M. von lichterer Farbe, enthielt aber nicht merkbar mehr Harzpfropfen. Bei der Verschwelung lieferte der braune, normale Xylit einen festen, silbergrauen Koks, der deutlich noch die Jahresringe zeigte. Ein brauner, harzreicher Xylit, der glänzenden Querbruch aufwies, was Merkmal für Zellulosefreiheit ist, lieferte einen schwarzgrauen, feinporig gesinterten Koks, der dicker war als das eingesetzte Holzstück und bei dem die Jahresringe noch angedeutet waren. Das Bitumenholz (Jude), das beim Einsatz deutliche Holznatur zeigte, gab einen schwarzen, grobblasigen, ganz geschmolzenen Koks. Beim Trocknen an der Luft wird schon bei 130° eine Spur von Öl ausgeschwitzt. Ein bei 200° mit 1 kg/cm² Belastung durchgeführter Autoklavenversuch ergab formähnliche Kompression um ein Drittel, bei Gewichtsverlust von ca. 40%. Die im Xylit eingelagerte Bitumenkohle war ein wenig wulstig herausgequetscht, stark glänzend, spröd mit muscheligem Bruch.

Aus der Weichbraunkohle, die die Hangendbank des Flözes von Hart bei Gloggnitz bildet, erhielt ich einst Proben einer „lehmartigen, weichen Einlagerung", deren Farbe ganz das Blond des Lehms war. Trocken war sie sehr leicht und fein zerreiblich, mit Pyropissit vergleichbar, Jahresringe waren nicht zu erkennen, immerhin machte es makroskopisch den Eindruck, als sei es Holzsubstanz gewesen. Es gelang nicht, Schnitte zum Mikroskopieren daraus herzustellen. Unter dem Binokular aber wurden die Holztracheiden erkennbar, ohne Wände, aber ihr Lumen ausgefüllt von einer lichten Masse, die im UV-Licht gelb fluoreszierte, also Harz war.

Herr Professor Schramml hatte die Freundlichkeit, mir folgende Analyse der noch frischen, aber lufttrockenen Substanz durchzuführen:

Bitumenholz von Hart.

	Rohkohle	Reinkohle
Wasser	4,56%	—
Asche	21,02%	—
Flüchtige Bestandteile	59,98%	80,6%
Reinkoks	14,39%	19,9%
C	48,33%	64,9%
H	4,84%	6,5%
Verschwelung bei etwa 530°:		
Schwelwasser	6,98%	3,25%
Teer .	21,59%	29,04%
Reinkoks	31,19%	41,93%
Gase	19,17%	25,78%

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Extraktion im Soxhletapparat mit Benzolalkohol 1:1 der nun schon etwa 15 Jahre im Zimmer aufbewahrten Substanz (Alterung und Oxydation verringern die Ausbeute und Eigenschaften des Bitumens) ergab 42%.

Auch der Xylit von Mydlowar, der oben in einem Braunkohlenflöz von sehr niederer Reife liegt, zeigt nach eigenen Analysen und solchen von Schulz u. Hamackowa (1924) (88) mitunter sehr beträchtlichen Bitumengehalt, da er oft von lichtem Bitumenholz durchsetzt ist. Eine gute Durchschnittsprobe aber ergab nur 6,6% Bitumen.

Nach Beschaffenheit und Art des Auftretens dieser Bitumenhölzer darf man annehmen, daß es sich hierbei um faules Holz handelt. Schon aus einer Analyse von Eichenholz, das von Weißfäule befallen war, die Justus von Liebig (1840) (89) mitteilte, geht ein höherer Wasserstoffgehalt hervor. Jeder Faulschlamm hat viel Schwefel bzw. Schwefeleisen. Unterliegt ein im Faulschlammtorf entstandenes Bitumenholz der Metamorphose, so entsteht jene eigenartige Kohle, wie ich sie von der Grenze des Glanz- und Mattkohlenflözes vom Ellyschacht in Seestadtl geschildert habe (87, p. 437). Der Xylit wird zu Vitrit, sein Bitumengehalt bildet reichliche Kluftausfüllungen darin, das kolloidale Schwefeleisen klumpt sich zu den früher schon aus Kupferschiefer, durch Siegl (1940) (90) und durch Stach (1942) (91) auch aus Kohlen bekanntgewordenen Pyritkonkretionen zusammen, die in diesem Falle die Holzzellen ebenso zur Seite schieben, wie es von Pyritwürfeln in Tongesteinen oft bemerkt wurde.

Alle Bitumenträger und alles Bitumen nehmen mithin an der Metamorphose der Kohle teil. Die Veränderung ist chemisch und optisch nachweisbar. Zellulose, Lignin und ihre Derivate, die Humusstoffe, sind jedoch reagibler als die Bitumina. Nur das Wachs ist schnell veränderlich. Daß das Endprodukt der Bitumenmetamorphose ebenfalls eine Kohle ist, das zeigen die als Anthrazide beschriebenen Derivate, über welche eine Zusammenstellung in Dölters Handbuch der Mineralchemie gegeben wurde (92).

Seit obiger Niederschrift hat Ussar (111) dem Bitumen österreichischer Braunkohlen eingehende Untersuchungen gewidmet, auf die nur kurz verwiesen werden kann. Ussar zeigt, daß das Harz des Xylits und der Moorkohle aus der gleichen Muttersubstanz besteht, jedoch enthält die letztere Kohle nicht immer mehr Wachs. Die Inkohlung der Harze beginnt mit Kondensation und Depolarisation der Säuren zu unverseifbarer Substanz, aber der Harzcharakter geht im Braunkohlenbereiche nicht verloren.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Das p_H der Flözbildung.

Hochmoore und Waldmoore entstehen in saurem Medium, Flachmoore und Faulschlamm in neutralem bis schwach alkalischem. Das Anfangsstadium sei entscheidend, weil dieses aerobe oder anaerobe Gärung zur Folge hat (Erasmus 1938) (104). Bei der Entstehung von Vitrit oder Durit möchte Erasmus dieser Reaktion des Wassers mehr Bedeutung zulegen als botanischen Unterschieden. Es ließe sich leicht zeigen, daß der Autor dabei zu weit geht. Beziehungen zwischen der Natur ganzer Flöze und dem p_H ihres Bildungsraumes sind vorhanden, wie an Beispielen erläutert werden möge.

Bergemittel und Nebengestein der Kohle geben bisher nicht beachtete Anhalte für das p_H der Flözbildung, und zwar noch über den biochemischen Prozeß hinaus. Kaolin bildet sich in saueren Medien, Montmorillonit in alkalischen.

Es gibt Flöze, z. B. in den Lazisker Schichten Oberschlesiens, die in Schichten mit mächtigen Kaolinsandsteinen eingelagert sind. Manche derselben zeigen den Kaolin als Bindemittel zwischen den Quarzkörnern, andere lassen weitgehend in situ kaolinisierte Arkosen erkennen. In den die Flöze begleitenden Schiefertonen konnte ich Montmorillonit nicht nachweisen. Toneisenstein ist abwesend. Ein bis mehrere Mittel von kaolinisiertem Porphyrtuff liegen in den Flözen. Bis zur Unkenntlichkeit wurde darin vulkanisches Glas kaolinisiert. Noch im Torfstadium erfolgte diese Kaolinisierung. In Siersza, dessen Kohle ich daraufhin näher untersuchte, besteht die Asche aschenreicher Kohlenbänke ganz vorwiegend wieder aus Kaolin. Durit bildet zum weitaus größeren Teil die Kohle trotz des sauren Mediums. Ganz analog sind die Verhältnisse im Pilsener Reviere und im Kladnoer Reviere. Kaolinisierte Porphyrtuffe und Eruptiva liegen unter der Kohle („Schleifsteine"), völlig kaolinisierte Tuffe in derselben und Kaolinsandsteine sind in großer Mächtigkeit über der Kohle anzutreffen. Alle diese Flöze sind ebenfalls durch sehr zahlreiche Fusitlagen gekennzeichnet.

Andererseits kennt man Flöze z. B. in den Gaskohlen der oberen Ostrauer Schichten, die recht frische Granit- und Porphyrgerölle einschließen, wenig verändert ist der Feldspat in den sie begleitenden Sandsteinen. Arkose bildet die Zwischenmittel in der Sattelflözzone des Karwiner Revieres. Diese Flöze haben nicht viel Fusit, die Sattelflöze sogar ganz wenig.

Es gibt in den Ostalpen Flöze, in denen Rhyolithasche mächtige Einlagerungen bildet. Ihr Glas ist nur wenig zersetzt. Der Andesin von Trifail ist als scharf ausgebildeter klarer Kristall

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

unter den Mineralogen bekannt. Er steckt in der Kohle. Die Andesittuffe, welche als Bergemittel in die Kohle des Trifailer Revieres auftreten, sind ebenfalls nur wenig zersetzt. Auch im nordöstlichen Ungarn sieht man wiederholt wenig zersetzte Tuffe in der Kohle eingelagert, was für neutrale Wässer spricht. Auch diese Flöze sind fusitarm.

Ich habe wenig Erfahrung über das Auftreten von Montmorillonit in Zusammenhang mit Kohle. Im nordöstlichen Ungarn sah ich ein Flöz, das einen dünnen Streifen quellbaren Bentonits enthielt. Auch im Brandschiefer der auf der Kohle von Sagor liegt, bemerkte ich einen dünnen Bentonit- (Smektit-) Streifen. In der Kohle von Tauchen liegt zwischen den Mitteln von Rhyolitasche auch ein schwaches montmorillonithältiges Tonmittel. Hier herrschten also neutrale oder alkalische Bedingungen. Auch alle diese Flöze haben wenig oder keinen Fusit.

Ungarische Geologen (z. B. Sadeczky-Kardoss 1939) (105) haben die Kohlen, die als Grundflöze auf verkarsteten Kalkschichten aufliegen, als Karstkohlen benannt. Hoher Schwefelgehalt kennzeichnet sie. Gerade die Torfanalysen, die aus Ungarn veröffentlicht wurden (Laszlo) (106), zeigen dann, wenn Beziehungen zu Kalksteinmassiven erkennbar sind, höheren Schwefelgehalt, als ihn Torf normalerweise aufweist. Eiweißbildung durch bakterielle Tätigkeit in neutralem oder alkalischem Medium ist hier wahrscheinlich. Gewöhnlich sind alle diese Karstkohlen sehr duritreich. Der Schwefel ist nicht nur organischer Schwefel, und man kann sehen, daß die winzigen Pyritkristalle im Durit und Vitrit ziemlich gleich verteilt sind. Das spricht für Wanderung des Schwefels in der Kohle. Alle diese Karstkohlen sind Glanzbraunkohlen. Alle sind fusitarm oder sogar fusitfrei. Das muß aber nicht immer der Fall sein, denn auch die Geiseltalkohle ist eine Karstkohle und enthält doch Fusit (Kolbe 1932) (107).

Der Duritreichtum der Karstkohlen würde mit Flachmooren und Faulschlammtorfen harmonieren, jener der Kohle von Siersza nicht. Dieser ist ein Faziesmerkmal, denn bei unverändertem, an den Gesteinen ablesbarem p_H nimmt in den Lazisker Schichten gegen West der Vitritgehalt der Flöze zu. Die Beispiele von Tauchen und Sagor zeigen weiter an, daß das p_H innerhalb eines Flözes sich ändern kann.

Wenn auch Bergemittel und Nebengestein deutliche Gradmesser für das p_H der Flözbildung liefern können, so sei doch betont, daß Bezugnahme auf Liegendschichten nur mit Vorsicht erfolgen kann. Der Kaolin unter dem Josefiflöz von Falkenau ist älter als die Kohle und unabhängig von ihr entstanden.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Diese Hinweise auf das Auftreten von Fusit zeigen an, daß man nicht jede Fusitführung durch Waldbrand erklären muß. Andererseits stehen gerade die hier angeführten Zusammenhänge zwischen dem p_H und Fusit im Gegensatz zu den Erklärungen, die Mc. Kenzie Taylor (1926) gegeben hat.

Tektonische Spuren.

Klüftung.

Zuerst äußert sich die tektonische Beanspruchung eines Gesteines in der Klüftung. Nicht anders ist es bei der Kohle. Je reifer eine Kohle ist, um so stärker ist ihre Klüftung. Schon an der Grenze von Weichbraunkohle und Mattbraunkohle beginnt sie. Ihren Höhepunkt scheint sie in den Fettkohlen zu erreichen, die deshalb auch mürber, leichter zerdrückbar sind als Gas- oder Flammkohlen. Meine Erfahrungen über die Klüftung des Anthrazits außerhalb der jungen Faltengebirge sind klein, so daß ich selbst über seine Klüftung weniger sagen kann. Tatsache ist, daß die Härte der Kohlen im Braunkohlenstadium in Zusammenhang mit der Entwässerung zunimmt, im Steinkohlenstadium dagegen verringert sich die Festigkeit zusammen mit zunehmender Klüftung bis zu den Fettkohlen, um dann aber über die Magerkohle zu den Anthraziten wieder zu steigen. Nicht mit Unrecht bringt man diese Umkehr mit der Entgasung in Zusammenhang. Auch hierbei kommt der Inkohlungssprung Halbfett-Magerkohle zum Ausdruck.

Im Weichbraunkohlenstadium reagiert die Kohle wie das Nebengestein auf Druck zunächst durch Entwässerung und Verdichtung. Wo dieser Druck fehlt, bilden sich offene Spalten, in die von oben Sand (vgl. W. E. Petrascheck 1934 [93]) oder Schlamm (Riegel im Plauenschen Grunde nach eigenen Beobachtungen) eindringt.

Die Lage der Klüfte wird von der Tektonik geregelt. Sogar der durch das Austrocknen bedingte Zerfall der an der Grenze zur Weichbraunkohle stehenden Antonikohle von Falkenau folgt dieser Klüftung (Z. Peithner 1932 [94], E. Wölk 1939 [95]). Je mannigfaltiger die tektonische Geschichte eines Flözes ist, um so zahlreicher sind die in ihm auftretenden Kluftrichtungen. So konnten Oberste Brink und Reine (1934) (96) sowohl wie Schleier (1931) (97) 4 Kluftsysteme mit 8 Kluftrichtungen im Ruhrkarbon feststellen.

Da aber die Klüftung in Beziehung zur Reife der Kohle steht, so ist tektonisch geregelte Klüftung ein Beweis

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

für kinetische Metamorphose, es sei denn, daß die Klüftung jünger ist als die Metamorphose, worüber jeweils die Geschichte des Vorkommens Auskunft geben kann. Thermisch veredelte Kohlen lassen die geregelte Klüftung vermissen. Bekannt ist die säulenförmige Absonderung der kontaktmetamorphosierten Kohlen auch dann, wenn die Umwandlung der Kohle nicht bis zum Koks erfolgt ist.

Die Kohlenreviere Handlowa, Pernik und Salgó-Tarjan.

Nachdem ich an der Kohle von Handlowa die verschiedenen Stadien der thermischen Metamorphose studiert hatte, die dort infolge eines Andesitsills eine große Fläche erfaßt hatte, wurden von Blüher (1935) (98) gegen diese Auffassung Einwendungen gemacht und tektonische Veredelung infolge verschiedener Tiefenlage zur Erklärung herangezogen. Die Tiefenlage des Flözes ist in der Richtung auf Nowaki zum Teil noch größer als in Handlowa und trotzdem ist die Kohle Weichbraunkohle geblieben, weil dort die Intrusionen fehlen. Die Klüftung der Kohle in Handlowa ist durchaus unregelmäßig. Sogar die Sprünge, welche die Kohle zusammen mit dem Andesit nachträglich disloziert haben, sind in nur geringem Maße in der Klüftung abgezeichnet. Ich kann mithin auch auf Grund einer neuerlichen Untersuchung des Vorkommens der Auffassung Blühers nicht zustimmen. Andererseits ist für die Kohle von Pernik, die ich unter die kinetisch metamorphosierten Kohlen eingereiht hatte, von Stutzer (99) ein solcher Einfluß bezweifelt worden. Seitdem erkannt ist, daß jenes Flöz nicht pliozän, wie Stutzer noch meinte, sondern oligozänen Alters ist, ist es grundsätzlich wahrscheinlicher, daß tektonische Phasen über das Vorkommen gegangen sind. Läßt doch das Oligozän der Rhodopen zum Teil beträchtliche Faltung erkennen und sind noch jüngere Überschiebungen nachgewiesen. Abb. 10 zeigt Faltung der Kohle von Pernik, wie sie 1940 am Zugang zum Tagbau sichtbar war. Dazu kommt in diesem Tagbau eine überaus dichtscharige Klüftung parallel dem Südrande des Bassins. Ich halte die südliche Grenze des Beckens für eine Bruchgrenze, wenn auch der Bruch nicht immer als Randbruch das Tertiär begrenzt. Das Becken von Pernik ist tektonisch versenkt.

Ich war versucht zu glauben, daß die so hochwertige Kohle des Salgó-Tarjaner Gebiets, weil mitten in einem Eruptivgebiet gelegen, thermisch veredelt sei. Das war der Grund zu wiederholten Besuchen im Laufe der letzten Jahre. Aber auch hier überzeugte

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

mich die in enger Beziehung zur Tektonik stehende Klüftung eines anderen. Die durch die Skizzen von J. Vitalis (1938) (109) eindrucksvoll hervorgehobene, intensive Schollentektonik des Gebietes regelt in immer wiederkehrender Weise die Klüftung der Kohle. In Czakanyhaza dagegen, wo das miozäne Flöz eine schöne (wenn man von den Verunreinigungen absieht) Steinkohle schüttet, fehlt die Regelung der Klüfte. Hier war Eruptivkontakt jüngeren Basaltes für die Metamorphose maßgebend.

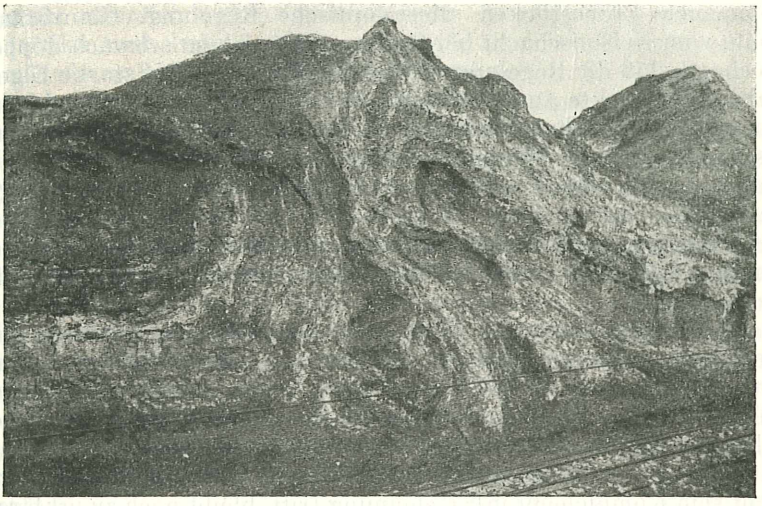

Abb. 10. Kohlenstoß im Tagbau von Pernik. Wenn auch das Flöz meist flach lagert, so zeigt doch starke Parallelklüftung und örtliche Faltung, wie im Bilde sichtbar, daß das Flöz tektonischen Kräften ausgesetzt war.

Das Ergebnis ist, tektonisch veredelte Kohle zeigt geregelte Klüftung, thermisch veredelte nicht.

Optische Regelung.

Daß Steinkohlen bei vorbeschriebener Metamorphose anisotrop werden, wird seit langem in der kohlenpetrographischen Diagnostik der Gefügebestandteile angewendet. Es scheint aber unbeachtet geblieben zu sein, daß sich auch im Glanzbraunkohlenstadium Anisotropie zeigt, die nur im durchfallenden Licht bemerkbar ist, eine Anisotropie, die man wegen jener der Zellulose besser in der strukturlosen Grundmasse des Durites sucht. Diese

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Anisotropie zeigt eine optische Regelung parallel zur Schichtung, wofern diese horizontal oder nahezu horizontal liegt. Bei stark geneigten Schichten ist das Auslöschen um so schräger zur Schichtung, je stärker diese geneigt ist, um bei vertikaler Lagerung wieder parallel zu werden. So sind bei gekreuzten Nikols vier Dunkelstellungen bei 360° Drehung zu bemerken. Braunkohle von Leoben, von Fohnsdorf, von Simitli, von Sagor, von Peissenberg, Flammkohle von Jaworszno, von der Dubenskogrube und von Radowenz zeigten je in mehreren, orientiert in der Grube entnommenen Probestücken diese optische Regelung. Glanzbraunkohle vom Nelsonschacht bei Osseg erwies sich so schwach doppelbrechend, daß die Regelung nicht erkennbar war. Die starke Eigenfarbe der Objekte zusammen mit der schwachen Anisotropie und der mitunter geschummerten, d. h. etwas ungleichen Auslöschung erschwert genaue Winkelmessungen, so daß nur der Größenordnung nach eine Übereinstimmung der Auslöschungsschiefe mit dem Einfallwinkel feststellbar ist, nicht mit seinem Komplementwinkel, wie man vielleicht vermuten könnte. Glimmer- und Gipsblättchen nutzten nichts für die Messung.

Es dürfte damit ein Weg gefunden sein, um kinetisch und thermisch metamorphosierte Kohlen zu unterscheiden. Diese optische Regelung ist nicht unerwartet, wenn blattförmige Einzelteilchen in dem Mizell kolloidaler Humine unter gerichteten Druck gelangen. Hierzu sei auf Untersuchungen von Agde und seiner Mitarbeiter verwiesen (1942) (101). Warum der Einfallwinkel und nicht sein Komplement in Erscheinung tritt, bleibt noch zu erklären.

Im auffallenden Licht ist die Sache komplizierter. Fett-, Eß- und Magerkohlen, aus dem Ostrauer Revier und dem Ruhrgebiet orientiert entnommen, zeigten bei geneigter Lage mitunter ebenfalls schräge Auslöschung. Es sind bei gekreuzten Nikols und voller Umdrehung 2 oder 4 meist schwer erkennbare Dunkelstellungen vorhanden, aber sie wiederholen sich nicht immer nach je genau 180° bzw. 90°. In der Hellstellung treten paarweise verschiedene leichte Färbungen auf. Die elliptische Polarisation spielt eine Rolle. Die Beziehungen zur Neigung der Schichten sind nicht so leicht zu überblicken wie bei Durchlicht.

Die diathermische Metamorphose der sudetendeutschen Braunkohle.

Die vorangehenden Untersuchungen zeigen, daß es zur Zeit nicht leicht ist, bei der Kohle kinetische und thermische Meta-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

morphose allein auf stofflicher Basis zu unterscheiden. Es steht zu hoffen, daß auf breiterer Grundlage die beiden letztgenannten Merkmale die Unterscheidungsmöglichkeiten günstiger gestalten. Vorläufig ist die Lage nicht unähnlich jener bei den kristallinen Schiefern, woselbst ebenfalls, wie nun gerade an einem Kohlenbeispiel gezeigt werden soll, die Heranziehung der geologischen Verhältnisse und der Erdgeschichte die Schwierigkeiten überbrücken kann.

In der Regel ist die Veredlung der Kohle durch Eruptivkontakt räumlich ungemein beschränkt. Es sind beispielsweise in Südafrika und Indien Erfahrungsregeln aufgestellt worden, die unmittelbare Beziehungen zwischen Mächtigkeit der vulkanischen Durchbrüche und Breite des Kontakthofes ausdrücken. Es war darum schon ein besonderer Fall, daß ich am Beispiel Handlowa zeigen konnte, daß ein ganzes Bergbaugebiet solche thermische Metamorphose aufweist, weil dort nahe der Kohle ein mächtiger Lagergang erkennbar war. Ich habe es nicht in Erinnerung, wo noch ausgedehntere Vorkommen solcher Art in der Literatur nachgewiesen wurden. Es ist wahrscheinlich, daß es solche gibt. Meine Vermutung, daß dies im Salgó-Tarjaner Reviere der Fall sei, hat, wie schon oben angedeutet, sich nicht bestätigt und ich glaube mich dabei in Übereinstimmung mit den ungarischen Forschern zu befinden.

In neuester Zeit sprach sich nun Jurasky (1940) (102) dafür aus, daß die böhmische Braunkohle, mit Ausnahme jener des Egerer Beckens, das Produkt einer großräumigen thermischen Metamorphose sei, die er auf einen tiefliegenden, magmatischen Herd zurückführt, welcher in einzelnen nur angenommenen Kuppeln höher reichte und daselbst hofartige Veredlungszentren schuf. Diathermische Metamorphose nennt Jurasky diese Umwandlung, für welche er eine interessante und vielseitige Beweisführung antritt.

Um die Großräumigkeit ins rechte Licht zu stellen, betont der Verfasser vorerst bei seiner Beweisführung die seiner Meinung nach zu wenig beachtete Tatsache, daß auch die gewöhnliche böhmische Braunkohle ausgesprochen veredelt sei. In der Tat war das so allgemein anerkannt, daß besondere Erwähnung sich meist erübrigte. Stellt doch die Mattbraunkohle bereits das dritte Stadium in der Inkohlungsreihe der Braunkohlen dar, dem zum Unterschied von den Glanzbraunkohlen innerhalb der Hartbraunkohlen dieser Name gegeben wurde. Die auch von Jurasky angewendete Bezeichnung (Mattbraunkohle) I. und II. Qualität war von mir einfach vom Kohlenhandel übernommen worden.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Auch die weitere Feststellung, daß die Reifeunterschiede dieser Braunkohlen vor allem im Wassergehalt liegen und die Änderung im Brennstoffverhältnis belanglos ist, deckt sich mit einer älteren, weltweiten Erfahrung bei Braunkohlen. Wie oben schon besprochen, wird man bei Verbreiterung einschlägiger Feststellungen für Braunkohlen eine Schürmannsche Regel an Stelle der Hiltschen Regel für Steinkohlen setzen können. Erst im Stadium der Glanzbraunkohle, das jenem der Flammkohle sehr nahe kommt, machen sich Änderungen im Brennstoffverhältnis und der elementaren Zusammensetzung der Kohle infolge Abbaus (Karboxylgruppen) der Humussäuren bemerkbar. Auch in dieser Hinsicht folgen die böhmischen Braunkohlen dem, was alle anderen Braunkohlen zeigen.

Auf Grund des Schmelzpunktes von Harzen kommt Jurasky zur Annahme recht hoher Entstehungstemperaturen. Er spricht bei der Glanzbraunkohle gelegentlich von 500°, kommt also zu Zahlen, die weit über dem liegen, was sonst für die Metamorphose von Kohlen angenommen wird, wird doch sogar bei der Regionalmetamorphose kristalliner Schiefer nur an 300° gedacht (Niggli). Folgende Beweise für erhöhte Temperatur werden angeführt. Gasblasen in den Harzpfropfen der Holzzellen. Solche findet man auch in Kohlen, die dauernd einer Grundwasserkühlung ausgesetzt waren, wie im Hausruck u. a. Für Schmelzerscheinungen dieses Harzes und Korrosionserscheinungen an den im Durit liegenden Harzkörnern gilt das gleiche. Ich verweise wieder auf die Hausruckkohle, jene von Trifail, Tatabanya, Oroszlany, Sittenberg, um vor allem Kohlen ohne starke Durchwärmung zu nennen.

Schließlich sei der Duxit als ein Exsudat der Mattbraunkohle ein besonders wichtiges Beweismittel für die hohe Temperatur bei der Metamorphose. Er soll aus der Mattbraunkohle ausgesaigert sein und die Glanzkohle darunter imprägniert haben. Daß sich solche Exsudate auch in Kohlen bilden können, die nie eine nennenswerte Durchwärmung erfahren haben, wurde oben an Beispielen dargelegt. Zudem fehlt es der Glanzkohle dieser Flöze oder Flözteile an entsprechend hohem Gehalt an löslichem Bitumen. Diese Exsudate bilden immer nur örtlich sehr beschränkte Einlagerungen, durchtränken aber nicht ganze und mächtige Flöze. Es bleibt somit als einziges Beweismittel für die diathermische Metamorphose die säulenförmige Klüftung, die nach dem Verfasser ein absolut sicheres Kennzeichen für Schwindung infolge Durchwärmung sein soll. Als ich, wie ich glaube erstmalig auf diese eigenartige Klüftung nur mancher (!) Kohlen des Brüxer Reviers hinwies, getraute ich mich nicht, trotz äußerer Ähnlichkeit mit

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

schlanken Basaltsäulchen, einen solchen Schluß zu ziehen, weil sie nur lokal auftritt innerhalb sonst gleichartiger Kohle. Auch das Karlsbad-Falkenauer Revier soll nach Jurasky die gleiche thermische Veredelung erfahren haben, und doch hat gerade hier A. Frieser (1914) (103) zuerst die Abhängigkeit der Klüftung in der Kohle von der Tektonik betont, während H. Höfer der Schwindung mehr Bedeutung für ihre Entstehung zuweisen wollte. Peithner von Lichtenfels (1932) (94) hat später auf Grund neuer Studien an mehr lignitischen Kohlen diese Abhängigkeit von der Tektonik nochmals betont. Schließlich liegen mir von dort unveröffentlichte, sehr eingehende Kluftmessungen von Ing. Schauberger vor, die dies gleichfalls feststellen. Die tektonische Regelung der Klüfte im Falkenauer Revier ist demnach außer Zweifel. Für weite Teile des übrigen Braunkohlenreviers am Erzgebirgsfuße gilt nach eigener Erfahrung und nach Berichten meiner Schüler das gleiche. Bruchtektonik und Klüftung stehen auch dort in enger Beziehung. Die aus der Böhmischen Masse bekannten Kluftrichtungen beherrschen auch die böhmische Kohle. Ich halte es nicht einmal für ausgeschlossen, daß auch die örtlich stengelige Absonderung der Braunkohle tektonischer Natur ist und durch verschiedene Druckrichtungen und Engscharigkeit der Klüftung bedingt ist. Kommt dies doch auch bei anderen Sedimenten vor. Ich verweise auf die ältere Faltung in etwa NW-SO-Richtung vor der Einmuldung in erzgebirgischer Richtung. Ich verweise auf den Inundationsverwurf (eine Sprungzone) von der gleichen älteren Querrichtung und verweise auf die Bogensprünge bei Brüx, welche Bogenfom auch der schmale, Lettenspalte genannte Graben aufweist. Da die stengelige Absonderung in ihrer räumlichen Verbreitung sich nicht mit den Veredelungszentren deckt, z. B. Valerie-Tagbau, so ist die Beziehung durchaus nicht so klar. Ich betone, wie einst, daß bei den Säulchen oft eine Seite krumm ist. Vielleicht ist auch das ein Unterscheidungsmittel von den Basalt- usw. Säulen, die durch Schwindung ihre Klüftung erhielten. Die Erforschung der Ursache zur stengeligen Absonderung mancher Braunkohlen bleibt eine Aufgabe der Zukunft, und sicher ist nur, daß der größere Teil der böhmischen Braunkohlen tektonische geregelte Klüfte aufweist, welche Klüfte auf kinetische Metamorphose hinweisen.

Wie eingangs gezeigt wurde, ist in bezug auf die Kohlenchemie die Unterscheidung thermischer und kinetischer Metamorphose noch so wenig geklärt, daß es verfrüht wäre, Juraskys einschlägige Andeutungen zur Beweisführung heranzuziehen.

Wegen der Aussaigerung des Duxits sei auf die obigen Aus-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

führungen über Bitumenhölzer verwiesen, da solche die Möglichkeit lokaler Anhäufungen von Bitumen pechartigen Aussehens eröffnen. In der Tat stecken gerade in der „Schlacke" genannten bituminösen Zone des Ellyschachtes Holzreste, wie ich seinerzeit schon dargelegt habe.

Ich pflegte das Flöz des Ellyschachtes als ein Beispiel für zweierlei Kohle in einem Flöz anzuführen, und unter Hinweis auf Hart bei Gloggnitz suchte ich eher die Erklärung in einer verschiedenen Reife des Torfes, nur unten Specktorf. Treten doch „Metaxylite" gerade unten in Weichbraunkohlenflözen recht häufig auf. In der Elementaranalyse unterscheiden diese sich wenig vom Xylit darüber. Es sei hierzu auf meine einschlägigen Ausführungen an der Hausruckkohle verwiesen. Wäre Juraskys Annahme richtig, daß infolge Durchwärmung der Duxit oben ausgesaigert und dann nach unten gewandert sei, so sollte dies an Analysen entsprechend gezogener Proben erkennbar sein. Mir vorliegende ältere Elementaranalysen geben keinen Anhalt dafür.

Ellyschachtkohle	Oberteil (Mattbraunkohle)	Unterteil (Glanzbraunkohle)
	Rohkohle:	
Wasser	12,30 %	9,15 %
Asche	4,13 %	2,90 %
C	65,11 %	63,55 %
H . .	5,90 %	5,84 %
O + N	11,17 %	16,29 %
S	1,54 %	2,27 %
	Reinkohle:	
C	79,11 %	74,44 %
H . .	7,14 %	6,80 %
O + N	13,58 %	19,08 %

Nach dieser Analyse kann man nicht behaupten, die Unterbank sei bituminöser als die Oberbank. Sie ist nicht „gefleissnert", nicht höher metamorph. Daß es gewagt ist, die Aschenarmut der Brucher Kohlen mit einer Auslaugung von der Art, wie sie bei Abscheidung des Kolloidwassers nach dem Fleissner-Verfahren eintritt, erklären zu wollen, geht daraus hervor, daß man ähnlich niedrige Aschengehalte in Oberschlesien oder im Banat antrifft, wo Kinetik nicht in Zweifel ist.

Versagen mithin die an der Kohle selbst gemachten Wahrnehmungen für die an sich interessante Theorie der diathermischen Metamorphose, so kann diese auch an der Hand der Geologie der

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Landschaft in Zweifel gezogen werden. Kurze Hinweise mögen genügen, denn es entspricht nicht der Anlage dieser Untersuchung, erdgeschichtliche Fragen näher zu erörtern.

Ich hatte auf eine Faltenvergitterung im Braunkohlengebiet hingewiesen, wobei die ältere Faltung sich noch der sudetischen Richtung anpaßt. Ein Blick auf das Bruchnetz der sudetischen Kreide zeigt, daß weit vor dem Sudetenrand, an dem der Erzgebirgsbruch auslöscht, sich sudetische Spuren in leichter Faltung und Sprüngen einstellen. Jurasky erklärt die ältere Querfaltung des Egergrabens als vulkanische Beulung. Es wäre wünschenswert, hierfür auch entsprechende Merkmale zu erfahren, was noch aussteht. Jurasky reproduziert in den Konturen unverändert eine von mir seinerzeit entworfene Skizze der Verbreitung der verschiedenen Kohlenqualitäten. Ich habe noch nicht geprüft, ob sie sich durch neue Aufschlüsse in einst wenig bekannten Teilen abändern ließe. Nur das möchte ich hervorheben, daß nächst Osseg die Glanzbraunkohle bis an den Erzgebirgsrand heranreicht. Es liegt dort tatsächlich der beim Ellyschacht beanstandete Fall vor, daß auch in der Hebungszone hochgradig veredelte Kohle ansteht. Wenn auch bei Bildung einer Antiklinale sofort die Denudation wirksam wird, so ist damit noch nicht gesagt, daß dadurch der vertikale Druck auf Null reduziert wird. Unvermindert aber ist der kinetische Druck, der Sattel und Mulde in gleicher Weise ergreift.

Um die örtliche Veredelung zu erklären, nimmt Jurasky unter dem ganzen Egergraben einen wenig tief liegenden, magmatischen Herd an, der unter den beiden Glanzkohlengebieten lakkolithische Kupolen bis nahe an die Oberfläche entsende, die einen Hut höchstmetamorphosierter Kohle tragen. Dabei weist der Verfasser auf einen „Phonolith“ hin, der im Viktorinfelde unter der übrigens nur geringst veredelten Kohle festgestellt worden sei. Dieser Phonolith Juraskys kann nichts anderes sein als jener von Plänerletten überlagerte (permische-Teplitzer) Porphyr, der am Viktorinschacht von verschiedenen Sachverständigen gesehen und immer in der Literatur als solcher bezeichnet worden ist. Es scheint demnach hierbei nur ein Mißverständnis vorzuliegen. Wäre aber die Metamorphose diathermisch von der Tiefe her erfolgt, so müßte sie sich mit der Tiefe zunehmend auch am Gestein bemerkbar machen, wie das auch in Handlowa etliche Meter unter dem Glanzkohlenflöz schon sichtbar ist, wo sich harte Kontaktgesteine einstellen. Sie enthalten Schmitze einer Glanzbraunkohle, die ich unter der Bezeichnung „Kontaktantraxylon“ als ein wenig stärker metamorphosiert der Flözkohle gegenübergestellt hatte. Im Brüxer Revier dagegen haben Tiefbohrungen, die bis zu 180 m unter das

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Flöz hinuntergegangen sind, über dem Gneis nur Letten, aber keine Kontaktgesteine angetroffen, wie sie vorhanden sein müßten, wenn das Flöz noch in der Reichweite eines Magmaherdes gelegen wäre. Ich hatte seinerzeit auch Proben von einer Bohrung in der Hand, die am Ellyschacht weit ins Liegende der Kohle ging. Sie zeigte keine Intrusion und kein Kontaktgestein. Übrigens ist die alte Annahme vulkanischer Veredelung am Ellyschacht (Kallus) auf Mißdeutung der sogenannten Schlacke zurückzuführen.

Es ist richtig, daß örtlich eine auffallend kleine geothermische Tiefenstufe beobachtet wurde. Das darf man aber keinesfalls für das ganze Gebiet verallgemeinern. Neben einer warmes Wasser führenden Spalte herrscht starkes Temperaturgefälle. Hie und da wurde aber auch kaltes Wasser in der Tiefe angetroffen, und die Übertemperatur des Grundwassers im Cenoman beträgt wenig mehr als 10°. Die gegenwärtige Wirkung des erkaltenden Herdes, der ja nicht zu leugnen ist, ist also von nebensächlicher Geringfügigkeit für die Frage thermischer Kohlenveredelung.

Begründet ist es, wenn Jurasky gegen einen Einfluß der Kohlungswärme im Sinne von Höfers auf das Kohlengebirge im Egergraben Stellung nimmt. Daß hier eine Fehldeutung thermaler Einflüsse vorliegt, darüber ist man sich seit Jahrzehnten einig. Daß man aber deshalb Höfers Theorie nicht zur Gänze verurteilen darf, daß es Gebiete gibt, in denen sich solche Wärme bemerkbar macht, wurde anderen Ortes früher schon auseinandergesetzt.

Als Thermometer für die maximale Wärme, der die Kohle ausgesetzt gewesen ist, können noch die unter dem untersten Flöz lagernden Kaoline und der zwischen den Flözen liegende Bentonit dienen. Der erstere verliert sein Wasser bei maximal 450°, der Bentonit bei 250°. Daß Kapillar-, vielleicht z. T. auch Konstitutionswasser wieder aufgenommen werden kann, ist denkbar. Ein Vorversuch zeigte, daß ein Bentonit Typus I aus Süddakota, der bei 200° getrocknet worden war, aus wasserdampfgesättigter Luft seinen vollen Wassergehalt wieder aufnahm und wieder quellbar wurde. Eingehendere Versuche versprechen ein für die Kohlenmetamorphose verwendbares Thermometer zu liefern und sind auch in meinem Institut in Angriff genommen. Übrigens haben U. Hofmann u. J. Endell (1939) (107) gezeigt, daß das Konstitutionswasser der Bentonite nicht wieder ersetzbar ist, wodurch sich eine irreversible Temperaturgrenze bei langdauernder Erhitzung etwas unter 400° ergibt. Heute schon kann man sagen, daß diese Mineralvorkommen eine obere Temperaturgrenze für die Kohlenmetamorphose liefern, die immer noch unter der von Jurasky angenommenen Temperatur liegt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ich kann von weiteren geologischen Erörterungen absehen. Wenn demnach der großräumigen diathermischen Metamorphose der böhmischen Braunkohlen die Beweisgrundlagen entzogen sind, so darf die Theorie Juraskys trotzdem als eine fruchtbare angesehen werden, weil sie zu mancherlei einschlägigen Untersuchungen eine Anregung gibt. Ich glaube gern, daß es andere Gebiete gibt, in denen eine solche Erklärung die einzig mögliche ist. Ich denke dabei namentlich an eine ungarische Kohle aus der Nachbarschaft der Matra, die in einer Landschaft liegt, welche von zahlreichen breiten Eruptivgängen durchsetzt ist, ohne daß die Kohle damit in Berührung tritt. Trotzdem ist sie zu einer Flammkohle metamorphosiert, während man sonst in den betreffenden Schichten Glanzbraunkohlen antrifft. Ich hatte noch nicht Gelegenheit, die Grube selbst zu studieren und kann darum die Vermutung nur andeuten, als Hinweis dafür, daß ich solche Vorgänge wohl für möglich halte.

Ergebnisse.

Die üblichen Analysen lassen keine Unterschiede zwischen thermisch und kinetisch veredelten Kohlen erkennen. Es ist jedoch möglich, daß stufenweise Entgasung an der Menge dampfförmiger Kohlenwasserstoffe ein Kennzeichen liefern kann. Die Menge der flüchtigen Bestandteile, die für die Steinkohlen eine Kennzahl für den Grad ihrer Reife abgibt, ist bei Braunkohlen nicht anwendbar und ist, wie Schürmann zuerst betont hat, durch den Wassergehalt zu ersetzen. Es besteht keine einfache und gerade Proportionalität zwischen der Deckgebirgsmächtigkeit, der die Kohle einst ausgesetzt war, und ihrem Reifegrad, so daß neben der Tiefenlage bzw. der dadurch bedingten Wärme (sowie ursprünglichen Materialverschiedenheiten) noch andere Einflüsse wirksam gewesen sein müssen. Als solcher muß der faltende Gebirgsdruck in Betracht kommen.

Der reagibelste Baustoff der Kohle ist das Holz. Autoklavenversuche, bei denen neben dem allseitigen Dampfdruck noch ein einseitig wirkender Belastungsdruck in Anwendung kam, lehrten, daß das Holz erweicht und plastisch deformiert wird. Es erweicht um so vollkommener, je weitgehender die Zellulose durch biologische Prozesse zerstört worden ist. Faules Holz oder zellulosefreier Xylit erweichen am vollständigsten. Bei einer Last von 1 kg/cm² werden sie ganz breitgequetscht und sind beim Erkalten schwarz, mit glänzendem, muscheligem Bruch. Sie nehmen also ganz die Eigenschaften des Vitrits an. Moorkohle aus Weichbraunkohlenflözen wird unter gleichen Versuchsbedingungen formähnlich

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

komprimiert, wird auch hart, aber mattschwarz und behält die Schichtigkeit des Durits. Überschuß an Lignin oder an Humaten begünstigt die plastische Deformation von Holz zu Vitrit. Vitritische Substanz entsteht auch aus reinem Dopplerit. Die Deformation der Holzzellstruktur der Autoklavenkohle gleicht durchaus jener im Vitrit der Glanzbraunkohle. Als solche sind die Reaktionsprodukte im Autoklaven zu bezeichnen. Das ligninärmere Frühholz und die Markstrahlen werden zuerst zerstört und dienen als Gleitbahnen. Volumen- und Gewichtsänderungen wurden schätzend verfolgt, ebenso die Größe der Zellen bzw. der Zellwände. Die Änderungen bewegen sich in jenen mäßigen Grenzen, die für Flammkohlen als Schwund angenommen werden. Das Vorhandensein von Zellulose wirkt als Gerüstsubstanz, die der plastischen Deformation bei den angewendeten Versuchs-PT-Bedingungen widersteht. Da von den Glanzbraunkohlen angefangen allen weiter metamorphosierten Kohlen Zellulose fehlt und schon in Glanzbraunkohlen bis auf vereinzelte Fälle fast fehlt, darf man annehmen, daß bei gesteigertem PT oder in längerer Zeit (nicht zwei Stunden wie im Experiment) die Zellulose durch die Metamorphose ebenfalls zerstört wird. Die Protobitumina werden erst in den Endstadien der Metamorphose stärker angegriffen. Sie bilden demnach zusammen mit der Asche in der humosen Grundmasse ebenfalls eine lange stabil bleibende Gerüstsubstanz, was die Ursache des Unterschieds Durit-Vitrit in Bruch und Glanz ist. Eine Folge der plastischen Deformation des Holzes ist auch, daß seine Streifen um so dünner sind, je hochwertiger die Kohle ist.

Der Fusit geht meist auf verkohltes Holz zurück. Diese Holzkohle wurde bei Waldbränden ungleich stark verschwelt und unterlag dann ebenso der Metamorphose wie das Xylom und der Attritus, so daß sich auch an den Fusiten, wenn auch weniger regelmäßig, eine Reihung je nach der Metamorphose erkennen läßt. Immerhin sind Anzeichen dafür vorhanden, daß auch Beziehungen zwischen der Häufigkeit von Fusit und dem p_H der Flözbildung bestehen.

Die undulöse Auslöschung der Harze in reiferen Kohlen ist eher auf Spannungsdoppelbrechung infolge Austrocknen und Alterung zurückzuführen. Gleiches kann für die dicken Wände der Megasporen gelten, denn nicht immer sind Harze und Megasporen gepreßter Kohlen undulös. Als Retinite werden nur die Harzkörner und -massen bezeichnet, welche von der Pflanze gebildet wurden. Daneben gibt es Bitumenharze, die als Exsudate der Kohle entstanden. Solche Exsudate bilden sich auch in Kohlen, die nie einer nennenswert erhöhten Temperatur ausgesetzt waren. Labil und vergänglich ist von den Bitumenstoffen allein das Wachs, das bald

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

aus den Kohlen als solches verschwindet. Gelegentlich können Hölzer ungewöhnlich reich an Harz sein. Es mag sein, daß bei solchen vielleicht als Wundholz entstandenen Bitumenhölzern Fäulnis mitwirkte. Sie liefern pyropissitähnliche Substanzen, aus denen bei der Metamorphose reichlich Exsudat gebildet wird, welches dann Klüfte und Risse des Vitrits erfüllt. Die Fäulnis führt auch zur Bildung von kolloidalem Schwefeleisen, aus dem die Pyritklümpchen der Faulschlammgesteine entstehen.

Zunehmende Verfärbung bis zur Undurchsichtigkeit im Durchlicht, im Auflicht zunehmendes Reflexvermögen, bis zu jenem Grade der benachbarten Opaksubstanz steigend, läßt die erst (Braunkohlen) langsam, dann aber (Gaskohle bis Anthrazit) immer fühlbarer werdende Metamorphose der Bitumenträger erkennen. Hand in Hand damit geht eine abnehmende Löslichkeit des Bitumens, die im Anthrazit auf ein Minimum sinkt. Die stoffliche Verschiedenheit des Bitumens der Weichbraunkohle und der Steinkohlen wurde oft schon festgestellt. Wenn auf die Anthrazide hingewiesen wird, so ist ersichtlich, daß die Homogenisierung, d. h. die Verwischung der Unterschiede zwischen den einzelnen Kohlenbestandteilen, das Ende der Metamorphose ist.

Um verschiedene Wasserstoffionen-Konzentrationen im Wasser des Torfes und der werdenden Kohle festzustellen, wurde auf den Zersatz von Nebengestein und Einlagerungen verwiesen, auf Kaolin- und Montmorillonitbildung, bezüglich derer die Sammlung von Erfahrungen erst vor dem Anfang steht.

Wie bei allen Gesteinen, so ist auch bei den Kohlen die Klüftung ein Maßstab für tektonische Beanspruchung. Die Intensität der Klüftung nimmt mit der Metamorphose zu, steht also mit dieser in Zusammenhang. Tektonische Regelung der Klüfte weist auf kinetische Metamorphose.

Kinetisch metamorphosierte Kohle ist im Durchlicht anisotrop. Diese Anisotropie wird erst im Glanzkohlenstadium erkennbar und verschwindet wieder infolge Undurchsichtigkeit im Gaskohlenstadium. Sie zeigt sich an der Grundmasse und an Gelhölzern. Orientiert, d. h. in der Richtung des Fallens genommene Querschnitte löschen bei geneigter Lage des Flözes schief aus. Der Auslöschungswinkel ist abhängig vom Fallwinkel, nicht, wie man vielleicht vermuten könnte, von seinem Komplementärwinkel. Diese Anisotropie ist schwach und die Auslöschungsschiefe darum auch wegen der Eigenfarbe schwer genau zu bestimmen. Weitere Untersuchungen sind erforderlich. Auch hierin liegt ein Kennzeichen für kinetische Metamorphose vor. Die im Anschliff erkennbare Anisotropie der Steinkohle ist schon lange bekannt. Sie nimmt mit der

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Metamorphose gleichfalls zu. Die Abhängigkeit von der Lage des Flözes ist viel weniger deutlich.

Eine diathermische Metamorphose (Jurasky) ist grundsätzlich möglich. Die für die deutschböhmische Kohle angegebenen Merkmale, wie Schmelzerscheinungen an Harzen, Pollenschädigung, Exsudate von Bitumenharzen finden sich auch bei Kohlen, die bei weitem nicht jene erhöhten Temperaturen erreicht haben, die hier angenommen werden. Die Klüftung der Kohle ist tektonisch. Die nur örtlich stengelige Klüftung, die durch Verschneiden mehrerer Kluftscharen bedingt ist, erfordert aber wahrscheinlich auch noch weitere Aufklärung: Das Liegende der Kohle zeigt am Gestein keine Merkmale entsprechender Temperaturerhöhung. So versagen alle aus den Flözen angegebenen Kennzeichen. Das neben Thermen örtlich gesteigerte Temperaturgefälle darf nicht verallgemeinert werden. Für vulkanische Beulungen fehlt es noch an Beweisen. Hingegen ist eine Faltenvergitterung und Bruchtektonik unverkennbar.

Leoben, Juni 1945.

Literaturhinweise.

1 Erdmann, E., Jb. Hallescher Verband IV/2, 1924.
2 Petrascheck, W., in Redlich, Entstehung, Veredlung und Verwertung der Kohle. Berlin 1930.
3 Zetzsche und Kälin, Helvet Chim. Acta XV (1937), S. 670.
4 Gropp und Bode, Braunkohle 1932.
5 Petrascheck, W. E., Z. d. D. geol. Gesellschaft 1935.
6 Vondracek und Hlavica, Sbornik Mazar. Akad. Prag 1926.
7 Fischer, Peters, Warneke, Fischers Gesammelte Abh. Z. Kenntn. d. Kohle XI (1937), S. 151.
8 Petrascheck, W. und Wilser, Berta, B. u. H. Jb. (Leoben) *74*, 1926, S. 57.
9 White, David, Journ. Washington ac. se. 1915, S. 189.
10 Gothan, Pietzsch und Petrascheck, B. u. H. Jb. (Leoben) *75*, 1927.
11 Agde und Vetter, Braunkohle 1939, S. 237.
12 Schürmann, Verh. geol. Mijnbouwk. Genootsch. Geol. Ser. VIII (1925), S. 429.
13 Parker, Bull. U. S. Geol. Surv. 847—c.
14 Schmitz, Braunk. d. Ville. Diss. Aachen 1932.
15 Siegl W., in Civran, Gruber, Hofmann, W. J. Müller, Siegl, Petrascheck, Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Klasse *152* (1943).
16 Lehmann, K. und Hoffmann, E., Glückauf 1932, S. 739.
17 Petrascheck, W., B. u. H. Jb. (Leoben) *77* (1929), S. 125.
18 Potonié, R., Jahrb. preuß. geol. La. *51* (1930), S. 413.
19 Illner, Abh. natf. Ges. Görlitz *32* (1933), Heft 2.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

20 Pogrebitzky, XVII. Int. geol. Congr. 1937, Abstracts.
21 Legraye, Mem. soc. geol. Belg. *65* (1941/42).
22 Legraye, Ann. soc. geol. Belg. *60* (1934), S. B 27.
23 Brune, Arch. f. Lagforsch. 1930, H. 44.
24 Darrah, Ec. Geol. 1941.
25 Darrah, Am. J. sc. *239* (1941), S. 33.
26 Neumann, B., Brennst. Chem. *15* (1934), S. 25.
27 Stainier, X., Ann. Soc. geol. de Belgique *47* (1943).
28 Kirchheimer, Ber. Schweiz. Bot. Ges. 1933, S. 23.
29 Legy und Wheeler, J. chem. soc. *2* (1929), S. 2449.
30 Thiessen, Gilbert, Fuel 1936, S. 289.
31 Mc. Farlane, Ec. Geol. 1929, Heft 1.
32 Bergius, Anwendung hoher Drucke usw. Halle 1913.
33 Hoffmann, E., Beihefte Z. angew. Chemie, Nr. 24 (1936).
34 Schwalbe und Neumann, Z. angew. Chemie 1935.
35 Klein, Braunkohle 1932.
36 Skutl, B. u. H. Jb. (Leoben) *84* (1936).
37 Fuchs, W., Brennst. Ch. *11* (1930), S. 205.
38 Fleissner, B. u. H. Jb. (Leoben) 1926, S. 104.
39 Bergius, Z. Naturwissensch. 1928, Heft 1.
40 Jurasky, Geol. Rundsch. *29*, 1938.
41 Stach, H., Brennstoff-Chem. 1933, S. 201.
42 Iwasaki, Techn. Rep. Tohoku univ. Sendai 1926.
43 Klingner, F. E., Mont. Rundsch. 1934, Nr. 4.
44 Hofmann, E., B. u. H. Jb. (Leoben) 74 (1926), S. 152.
45 Potonié, R., Jahrb. preuß. geol. La. 1929, S. 1184.
46 Petrascheck, W., Centrabl. f. Min. etc. 1929.
47 Schwarzbach, Z. d. D. geol. Ges. *94* (1942), Heft 9/10.
48 Grand Eury, Ann. d. Mines 1882.
49 White David, Bull. U. S. Bureau of Mines No. 38 (1913).
50 Lange, Th., Schriften aus dem Gebiet der Brennst. Geol. Fusitheft 1929.
51 Reibisch, P., Z. prakt. Geol. *42*, 1934, S. 65.
52 Bode, H., Glück auf 1930, Nr. 7.
53 Lieske, Fischers ges. Abhandl. Kenntn. der Kohle IX (1930), S. 271.
54 Makenzie Taylor, Fuel 1927, S. 195.
55 Patteisky und Perjatel, Glückauf 1925, S. 155.
56 Goeppert, H. R., Entstehung der Steinkohlenlager, Leiden 1848.
57 Hoehne. R., Abh. geol. pal. Inst. Greifswald XII (1933).
58 Evans, Slater und Wheeler, Fuel 1929.
59 Gothan und Benade, Braunkohle 1930, H. 14.
60 Steinbrecher, Z. f. B. H. u. Salinenwesen 1933.
61 Kattwinkel, Glückauf 1934, S. 1006.
62 Jurasky, Schriften f. Brennstoffgeologie, Fusitheft 1929.
63 Mateescu, Anal. d. mines d. Roumania XVI (1933.
64 Lehmann K., Glückauf 1930, Nr. 40.
65 Berl. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol. 34 (1940), S. 1865.
66 Hofmann, E., in Civran usw. vgl. Nr. 15.
67 Hoffmann. E. und Jenker, A., Glückauf 1932.
68 Stach, H., Braunkohlenarchiv 40 (1933).
69 Fuchs, W., Die Chemie der Kohle. Berlin 1931.
70 Hock und Kühlwein, Glückauf 1931, S. 1189.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

71 Duparque, Rev. univ. d. mines 1926, S. 510.
72 Petrascheck, W., Braunkohle 1925, S. 593.
73 Kirchheimer, Hauptbraunkohlenlager der Wetterau, Hanau 1934.
74 Steinbrecher, Z. angew. Chemie 1935, S. 601.
75 Siegl, W., Sitzb. Ak. Wiss. Wien, mathem.-naturw. Kl., Bd. 149 (1940).
76 Benson, Ind. Eng. Chem. 1925.
77 Müller-Neuglück, Z. angew. Chem. 1933.
78 Petrascheck, W., B. u. H. Jb. (Leoben), 77 (1929), S. 751.
79 Donath, E., Öst. Z. f. B. u. H. Wesen 1907, S. 115.
80 Dolch, M., Braunkohle 1925, Nr. 16.
81 Zetzsche, Helv. Chim. act. *15*, 1932.
82 Potonié, R., Sitzb. Ges. Natf. Freunde, Berlin 1915, S. 116.
83 Gothan, Braunkohle 1941.
84 Stadnikoff, Schriften für Brennstoffgeol. 5/6 (1930), S. 180.
85 Schochart, Braunkohlenpetrographie, Halle 1943.
86 Carnot, Ann. d. mines VIII ser. t. 5 (1884), S. 548.
87 Petrascheck, W., Kohlengeologie d. öst. Teilstaaten, Wien-Kattowitz 1922—29, S. 183.
88 Schulz und Hamackowa, Bull. soc. chim. France B. 35, 1924.
89 Liebig, J. v., Organ. Chemie 1840.
90 Siegl, W., Min. petr. Mitt. *52* (1940), S. 347.
91 Stach, E., Glückauf 1942.
92 Petrascheck, W., in Dölters Handbuch der Mineralchemie, Bd. 4.
93 Petrascheck, W. E., Centralbl. f. Min. 1934, Abt. B, S. 140.
94 Peithner, B. u. H. Jb. Leoben, 1932.
95 Wölk, E., Braunkohle 1939, Heft 7.
96 Oberste Brink und Heine, Glückauf 1934, S. 1021.
97 Schleier, Mitt. Markscheidewesen *42*, 1931.
98 Blüher, Braunkohle 1935.
99 Stutzer, O., Braunkohle *29* (1930), S. 238.
100 Vitalis, Stefan v., Mitt. B. u. H. Abt. Hochschule Sopron 1938.
101 Agde, Schürenberg und Jodl, Braunkohle 1942, S. 41.
102 Jurasky, K., Mitt. Bodenforsch. Freiberg Sa. Nr. 20, 1940.
103 Frieser, A., Österr. Zeitschr. f. B. u. H. F.-Wesen 1914. Nr. 17.
104 Erasmus, Schriften, Brennstoff, Geologie, Heft 12, 1938.
105 Sadecky-Kardoss, Mitt. B. u. H. Abt. Univ. Sopron XI (1939).
106 Laszlo, Torfmoore Ungarns. Ungar. Geol. R. Anst. 1916.
107 Kolbe, H., Braunkohlen, Archiv. Halle 1939.
108 Hofmann, U., und Endell, J., Beihefte Z. f. angew. Chem. Nr. 35 (1939).
109 Vitalis, I., Mitteil. d. Berg- u. Hüttenmänn. Abtlg. an d. K. ung. Palatin-Josef-Universität Sopron X/3 1938.
110 Petrascheck, W., und Koderhold, Berg- u. Hüttenmänn. Jahrbuch (Leoben), Bd. *78* (1930) S. 106.
111 Ussar, M., Berg- u. Hüttenm. Monatshefte. Wien 1948. Im Druck.